



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos.*  
**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



# **CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD PARA ANÁLISIS DE RIESGOS DE INUNDACIÓN COSTERA: APLICACIÓN AL CASO DE DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA**

Trabajo realizado por:

***Patricia Marabini Mesones***

Dirigido:

***Saúl Torres Ortega***

***Pedro Díaz Simal***

Titulación:

**Máster Universitario en  
Ingeniería de Caminos, Canales y  
Puertos**

Santander, noviembre de 2020

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

## **TÍTULO**

Caracterización de la exposición y vulnerabilidad para análisis de riesgos de inundación costera: aplicación al caso de San Vicente de la Barquera.

## **AUTOR**

Patricia Marabini Mesones

## **DIRECTORES**

Saúl Torres Ortega, Pedro Días Simal

## **CONVOCATORIA**

Noviembre 2020

## **PALABRAS CLAVE**

Cambio climático, amenaza, exposición, vulnerabilidad, población, activos socioeconómicos, cota de inundación, periodo de retorno, factor de daño.

## **RESUMEN**

Una de las principales consecuencias del Cambio Climático es el aumento del nivel del mar. Este fenómeno se produce debido al aumento de la temperatura que hace que el agua se caliente y tienda a dilatarse, lo que se conoce como dilatación térmica. A causa de esa subida de temperatura, la velocidad de deshielo de Groenlandia y la Antártida Occidental está acelerándose, al igual que los glaciares y los casquetes polares, los cuales se derriten y no vuelven a su forma habitual como ocurría en el pasado. En los últimos 22 años el aumento ha sido de 8 cm, aproximadamente 3,2 mm anuales, pero se estima que en 2100 podría incrementarse entre 30 cm y 60 cm, pudiendo llegar hasta los 110 cm en el caso de que no se frenen las emisiones a la atmósfera.

Este aumento en el nivel del mar hace que tanto las inundaciones de las zonas costeras como los fuertes temporales sean cada vez más frecuentes, poniendo el peligro viviendas, campos de cultivos y zonas de ocio entre otros, pudiendo ocurrir que en un futuro los 680 millones de personas que habitan en las zonas costeras de baja altitud puedan verse obligados a abandonar sus lugares de residencia.

Según la Unión Europea (EU, Climate Risk Assessment An Introduction), el análisis de riesgos climático se define como la identificación de riesgos emergentes motivados por los cambios en el clima y con el objetivo de desarrollar actividades que aprovechen las oportunidades para gestionar los efectos negativos de los mismos.

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

Siguiendo la definición anterior, el análisis del riesgo de inundación se está convirtiendo en la actualidad en una práctica muy utilizada para tratar de mitigar los desastres y poder evaluar sus consecuencias. Que sea una práctica recurrente no quita que se sea una práctica compleja en la que intervienen numerosas variables y difícil de caracterizar, lo que implica una alta incertidumbre en el estudio.

El objetivo del presente estudio es estudiar y analizar las diferencias entre distintos enfoques en la caracterización de la exposición y vulnerabilidad a utilizar en los análisis de riesgos de inundación. El trabajo utiliza como zona de estudio el municipio de San Vicente de la Barquera, en el que se realizará un estudio detallado de la exposición y la vulnerabilidad a diferentes niveles de detalle.

Se entiende que el riesgo de desastre no sólo tiene que ver con la probabilidad y la gravedad del evento de peligro, sino también con lo que se expone al peligro y lo vulnerable que es esa exposición. Por ello se puede considerar que el riesgo comprende tres elementos, amenaza, vulnerabilidad y exposición.

Para su explicación es muy frecuente emplear el triángulo del riesgo, que incluye los tres factores citados anteriormente y que entiende el riesgo como la probabilidad de un evento y las consecuencias negativas que conlleva, expresadas como el producto de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad. Por lo tanto, en el caso de que alguno de esos tres factores aumente, el riesgo también lo hará.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición}$$

En este trabajo, no se va a determinar la amenaza per sé, sino que el enfoque del trabajo se centra en la caracterización de la exposición y vulnerabilidad. Es por ello que, para el estudio de la amenaza, se han empleado diferentes manchas de inundación de alta resolución generadas por el IHCantabria para el “Informe de riesgos en la costa frente al cambio climático a nivel de toda la Comunidad Autónoma de Cantabria”, en formato RASTER con una resolución de 5 m.

Para caracterizar la exposición se han analizado tanto la población como los activos socioeconómicos. Para el estudio de la población se han utilizado dos fuentes de datos diferentes. En primer lugar, se ha utilizado la información proporcionada por el Gobierno de Cantabria (censo), en formato espacial. Se considera que esta fuente de información representa de una forma bastante realista la distribución real de la población. Por otro lado, se ha utilizado la información procedente del Global Human Settlement, que es una

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

plataforma que dispone de datos de toda la población del mundo a una resolución de 250m, partiendo principalmente de imágenes satélite.

Para caracterizar las variables socioeconómicas se ha tenido en cuenta tanto los activos construidos, los cuales se dividen en: comercio, cultura, deporte, enseñanza, hoteles, manufactura, ocio, oficinas, religioso, residencial y sanitario, como el valor catastral, la renta y el PIB.

En cuanto a la vulnerabilidad, entendida como la propensión de la exposición a verse afectada por una amenaza determinada, ocasionando daños sobre los bienes materiales o sobre las personas, se han establecido, a partir de “Global flood Depth-damage functions” del JRC technical reports (2017), unas funciones de predicción de daños para determinar el impacto en los sectores residencial, comercio, industria, infraestructuras y manufactura. Al no haber datos concretos para España se han utilizado los datos generales para Europa. En el caso de la población se ha cuantificado el número de personas que cuando la cota de inundación alcanza un determinado umbral se ven obligadas a abandonar su lugar de residencia.

El análisis de riesgo realizado en este trabajo busca la comparación de los resultados que se obtienen combinando diferentes enfoques de exposición y vulnerabilidad, tal y como se han descrito anteriormente. Para ello, se han ejecutado y analizado tres casos distintos, centrando el análisis en la obtención del riesgo sobre la población:

- CASO 1: exposición de alta resolución (utilizando la información sobre la capa de edificios) y umbral de vulnerabilidad fijado en 0,3m.
- CASO 2: exposición de 250m de resolución (utilizando la capa del Global Human Settlement) y umbral de vulnerabilidad fijado en 0,3m.
- CASO 3: exposición de alta resolución (utilizando la información sobre la capa de edificios) y distintos valores del umbral de vulnerabilidad.

En todos los casos se han utilizado las mismas manchas de inundación (amenaza), correspondientes a los periodos de retorno de 100 y 500 años. La comparación de estos casos, utilizando el Caso 1 como referencia, deberá servir para determinar las diferencias entre los dos enfoques de exposición, así como la sensibilidad de la población frente a distintas cotas de inundación.

De los resultados obtenidos relativos a la población afectada, una primera conclusión la podemos obtener de la comparación entre los dos primeros escenarios definidos anteriormente (Caso 1 y Caso 2). En esta comparativa se enfrentan los resultados de la

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

exposición caracterizada en edificaciones frente a la caracterización a 250m de resolución espacial.

Se observa que, para el periodo de retorno 100, mientras que en el Caso 1 la población afectada es de 240 personas, en el Caso 2 este número llega hasta casi las 2.400 (diez veces más).

Partiendo de la hipótesis de que la exposición utilizada en el Caso 1 representa mejor la realidad (pues imputa la población en edificaciones y elimina residentes de zonas como calles, plazas, etc.) comprobamos como el empleo de bases de datos de exposición globales (como la GHS) sobrestima de manera importante la determinación del riesgo. Esto pone de relevancia la importancia de utilizar buenas fuentes de exposición a la hora de realizar los estudios de riesgo.

La comparación del Caso 1 y el Caso 3 debe servir para obtener la sensibilidad de la población frente a distintas cotas de inundación. Así, se observa que entre 430 y 500 personas se ven afectadas, aunque sea mínimamente, por la inundación de eventos de periodos de retorno entre los 100 y 500 años. Esta cantidad de personas, como es de esperar, se va reduciendo a medida que aumenta el umbral de vulnerabilidad que se adopte. Para un umbral de 0,15m el número de personas anterior se reduce entre un 20% y un 8%. Estos valores nos dan igualmente el porcentaje de población afectada que experimenta una cota de inundación entre 0 y 0,15 metros. Para umbrales mayores, de 0,5m, la población afectada se reduce hasta desaparecer para periodos de retorno de 100 años, aunque resalta que para periodos de retorno de 500 años más de 300 personas sufren inundaciones de más de 0,50m.

## **TITLE**

Characterization of exposure and vulnerability for coastal flood risk analysis: application to the case of San Vicente de la Barquera.

## **AUTHOR**

Patricia Marabini Mesones

## **DIRECTORS**

Saúl Torres Ortega, Pedro Díaz Simal

## **CALL**

November 2020

## **KEYWORDS**

Climate change, hazard, exposure, vulnerability, population, socioeconomic assets, flood elevation, return period, damage factor.

## **SUMMARY**

One of the main consequences of Climate Change is the rise of the sea level. This phenomenon occurs due to the increase in temperature that makes the water hot and tends to expand, which is known as thermal expansion. Because of this rise in temperature, the speed of melting of Greenland and West Antarctica is accelerating, as are the glaciers and ice caps, which are melting and not returning to their usual form as in the past. In the last 22 years the increase has been 8 cm, approximately 3.2 mm per year, but it is estimated that in 2100 it could increase by 30 cm to 60 cm, and could reach 110 cm if emissions to the atmosphere are not stopped.

This rise in sea level means that both coastal flooding and strong storms are becoming more frequent, endangering homes, agricultural fields and leisure areas, among other things. In the future, the 680 million people who live in low-lying coastal areas may be forced to leave their homes.

According to the European Union (EU, Climate Risk Assessment An Introduction), climate risk analysis is defined as the identification of emerging risks motivated by changes in climate and with the aim of developing activities that take advantage of opportunities to manage the negative effects of these risks.

Following the above definition, flood risk analysis is now becoming a widely used practice to try to mitigate disasters and to be able to assess their consequences. The fact that it is a

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

recurrent practice does not mean that it is not a complex practice involving many variables and difficult to characterize, which implies a high degree of uncertainty in the study.

The objective of this study is to study and analyze the differences between different approaches in the characterization of exposure and vulnerability to be used in flood risk analysis. The work uses as study area the municipality of San Vicente de la Barquera, where a detailed study of exposure and vulnerability at different levels of detail will be carried out.

It is understood that disaster risk is not only related to the probability and severity of the hazard event, but also to what is exposed to the hazard and how vulnerable that exposure is. Therefore, risk can be considered to comprise three elements, hazard, vulnerability and exposure.

The risk triangle, which includes the three factors mentioned above, is often used to explain risk. It understands risk as the probability of an event and the negative consequences it entails, expressed as the product of the hazard, exposure and vulnerability. Therefore, in the event that any of these three factors increases, the risk will also increase.

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability} \times \text{Exposure}$$

In this work, the threat will not be determined per se, but the focus of the work is on the characterization of exposure and vulnerability. That is why, for the study of the threat, different high-resolution flood spots generated by IHCantabria have been used for the "Report of risks on the coast in the face of climate change at the level of the entire Autonomous Community of Cantabria", in RASTER format with a resolution of 5 m.

To characterize the exposure, both the population and the socioeconomic assets have been analyzed. Two different data sources have been used for the study of the population. First, the information provided by the Government of Cantabria (census), in spatial format, has been used. It is considered that this source of information represents in a quite realistic way the real distribution of the population. On the other hand, information from the Global Human Settlement has been used, which is a platform that has data on the entire population of the world at a resolution of 250m, based mainly on satellite images.

In order to characterize the socioeconomic variables, we have taken into account both the constructed assets, which are divided into: commerce, culture, sports, education, hotels, manufacturing, leisure, offices, religious, residential and health, as well as the cadastral value, income and GDP.

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

With regard to vulnerability, understood as the propensity of exposure to be affected by a given hazard, causing damage to material goods or people, based on the "Global flood Depth-damage functions" of the JRC technical reports (2017), damage prediction functions have been established to determine the impact on the residential, commercial, industrial, infrastructure and manufacturing sectors. As there is no specific data for Spain, the general data for Europe has been used. In the case of the population, the number of people who, when the flood level reaches a certain threshold, are forced to leave their place of residence has been quantified.

The risk analysis carried out in this work seeks to compare the results obtained by combining different approaches to exposure and vulnerability, as described above. To this end, three different cases have been executed and analyzed, focusing the analysis on obtaining the risk over the population:

- CASE 1: high-resolution exposure (using information on the building layer) and vulnerability threshold set at 0.3m.
- CASE 2: 250m resolution exposure (using the Global Human Settlement layer) and vulnerability threshold set at 0.3m.
- CASE 3: high resolution exposure (using the building layer information) and different values of the vulnerability threshold.

In all cases the same flood patches (threat) have been used, corresponding to the return periods of 100 and 500 years. The comparison of these cases, using Case 1 as a reference, should serve to determine the differences between the two exposure approaches, as well as the sensitivity of the population to different flood levels.

From the results obtained regarding the affected population, a first conclusion can be drawn from the comparison between the first two scenarios defined above (Case 1 and Case 2). In this comparison, the results of exposure characterized in buildings are compared with the characterization at 250m spatial resolution.

It is observed that, for the return period 100, while in Case 1 the affected population is 240 people, in Case 2 this number reaches almost 2,400 (ten times more).

Based on the hypothesis that the exposure used in Case 1 better represents reality (since it imputes the population in buildings and eliminates residents from areas such as streets, squares, etc.), we can see how the use of global exposure databases (such as GHS) significantly overestimates the determination of risk. This highlights the importance of using good sources of exposure when carrying out risk studies.



The comparison of Case 1 and Case 3 should serve to obtain the sensitivity of the population to different levels of flooding. Thus, it can be seen that between 430 and 500 people are affected, even minimally, by the flooding of events with return periods between 100 and 500 years. This number of people, as expected, is decreasing as the vulnerability threshold adopted increases. For a threshold of 0.15m the above number of people is reduced by between 20% and 8%. These values also give us the percentage of the affected population that experiences a flood level between 0 and 0.15m. For higher thresholds, of 0.5m, the affected population is reduced until it disappears for return periods of 100 years, although it should be noted that for return periods of 500 years more than 300 people suffer floods of more than 0.50m.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	14
1.1 Planteamiento del problema .....	15
1.2 Objetivo.....	16
2. CASO DE ESTUDIO .....	17
3. METODOLOGÍA .....	22
3.1 Análisis de riesgo.....	23
3.1.1 Riesgo.....	23
3.1.2 Amenaza .....	25
3.1.3 Exposición.....	27
3.1.3.1 Población.....	28
3.1.3.2 Activos socioeconómicos .....	33
3.1.3.2.1 Activos construidos.....	33
3.1.3.2.2 Valor catastral.....	34
3.1.3.2.3 Renta.....	35
3.1.3.2.4 PIB.....	36
3.1.3.2.4.1 Análisis de resultados.....	38
3.1.3.2.4.2 Resultados .....	39
3.1.4 Vulnerabilidad .....	40
3.1.4.1 Población.....	40
3.1.4.2 Activos socioeconómicos .....	41
3.1.4.2.1 Residencial.....	41
3.1.4.2.2 Comercio.....	42
3.1.4.2.3 Industria.....	43
3.1.4.2.4 Infraestructura .....	44
3.1.4.2.5 Manufactura.....	45
4. ANÁLISIS COMPARATIVO .....	47
4.1 Caso 1.....	48
4.2 Caso 2.....	50
4.3 Caso 3.....	51
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	52
6. CONCLUSIONES.....	58
7. BIBLIOGRAFÍA.....	60

## RESUMEN DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de San Vicente de la Barquera .....	18
Figura 2. San Vicente de la Barquera .....	20
Figura 3. Parque Natural de Oyambre .....	21
Figura 4. Triángulo de riesgo .....	24
Figura 5. Componentes de la cota de inundación .....	26
Figura 6. Mancha de inundación en HD para T=100 años .....	27
Figura 7. Capa de puntos en formato GeoDataBase con información sobre la población de Cantabria .....	28
Figura 8. Capa de polígonos en formato GeoDataBase con la representación de los inmuebles .....	28
Figura 9. Funciones “Join data from another layer based on spatial location” y “Select by Attributes” .....	29
Figura 10. Alturas tras la aplicación del código .....	32
Figura 11. Exposición genérica con una resolución de 250 m .....	33
Figura 12. Capas en formato GeoDataBase con la información del valor catastral de toda Cantabria y, una vez filtrados, de San Vicente de la Barquera .....	35
Figura 13. Resultados de una de las variables .....	37
Figura 14. Factor de daño asociado a los activos residenciales. Estudio realizado por la Unión Europea (2017) .....	41
Figura 15. Función de daño utilizada para el análisis de los activos residenciales .....	42
Figura 16. Factor de daño asociado a los activos comerciales. Estudio realizado por la Unión Europea (2017) .....	42
Figura 17. Función de daño utilizada para el análisis de los activos comerciales .....	43
Figura 18. Factor de daño asociado a los activos industriales. Estudio realizado por la Unión Europea (2017) .....	43
Figura 19. Función de daño utilizada para el análisis de los activos industriales .....	44
Figura 20. Factor de daño asociado a las infraestructuras. Estudio realizado por la Unión Europea (2017) .....	44
Figura 21. Función de daño utilizada para el análisis de las infraestructuras .....	45
Figura 22. Factor de daño asociado a la manufactura. Estudio realizado por la Unión Europea (2017) .....	45
Figura 23. Función de daño utilizada para el análisis de la manufactura .....	46
Figura 24. Función “Resample” .....	50
Figura 25. Área inundada para T = 100 y T = 500 .....	54

Figura 26. Nivel de detalle base de datos Global Human Settlement .....55

## RESUMEN DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de alturas según el catastro .....	30
Tabla 2. Usos del suelo .....	34
Tabla 3. Renta per Cápita en función de la sección censal .....	35
Tabla 4. Renta y PIB estimado.....	39
Tabla 5. Factor de daño asociado a la cota de inundación y ecuaciones de la recta en función del tramo .....	41
Tabla 6. Factor de daño asociado a la cota de inundación y ecuaciones de la recta en función del tramo .....	43
Tabla 7. Factor de daño asociado a la cota de inundación y ecuaciones de la recta en función del tramo .....	44
Tabla 8. Factor de daño asociado a la cota de inundación y ecuaciones de la recta en función del tramo .....	45
Tabla 9. Factor de daño asociado a la cota de inundación y ecuaciones de la recta en función del tramo .....	46
Tabla 10. Información necesaria para analizar el caso 1 .....	49
Tabla 11. Información necesaria para analizar el caso 2 .....	50
Tabla 12. Información necesaria para analizar el caso 3 .....	51
Tabla 13. Cota máxima y mínima de inundación.....	53
Tabla 14. Superficie ocupada afectada por sección censal en m <sup>2</sup> .....	54
Tabla 15. Superficie afectada por usos en m <sup>2</sup> .....	54
Tabla 16. Población afectada caso 1 y caso 2 .....	55
Tabla 17. Población afectada por sección censal.....	56
Tabla 18. Renta afectada por sección censal .....	56
Tabla 19. PIB estimado afectado por sección censal .....	56
Tabla 20. Resultados caso 3.....	57

## 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

Una de las principales consecuencias del Cambio Climático es el aumento del nivel del mar. Este fenómeno se produce debido al aumento de la temperatura que hace que el agua se caliente y tienda a dilatarse, lo que se conoce como dilatación térmica. A causa de esa subida de temperatura, la velocidad de deshielo de Groenlandia y la Antártida Occidental está acelerándose, al igual que los glaciares y los casquetes polares, los cuales se derriten y no vuelven a su forma habitual como ocurría en el pasado. En los últimos 22 años el aumento ha sido de 8 cm, aproximadamente 3,2 mm anuales, pero se estima que en 2100 podría incrementarse entre 30 cm y 60 cm, pudiendo llegar hasta los 110 cm en el caso de que no se frenen las emisiones a la atmósfera.

Este aumento en el nivel del mar hace que tanto las inundaciones de las zonas costeras como los fuertes temporales sean cada vez más frecuentes, poniendo el peligro viviendas, campos de cultivos y zonas de ocio entre otros, pudiendo ocurrir que en un futuro los 680 millones de personas que habitan en las zonas costeras de baja altitud puedan verse obligados a abandonar sus lugares de residencia.

El índice de riesgo climático (IRC) muestra el nivel de exposición y vulnerabilidad a los fenómenos climáticos extremos y sirve de advertencia a los países para que estén preparados en un futuro para eventos climáticos más frecuentes y severos. El IRC de 2020, que se presentó en la última Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP25 Chile), determina que los países más afectados por el aumento del nivel del mar son: Japón (IRC: 5,5), Filipinas (IRC: 11,17), Madagascar (IRC: 15,83), la India (IRC: 18,17), Sri Lanka (IRC: 19) y Fiji (IRC: 22,5).

En España aproximadamente el 75% de la población vive en la costa, aunque solamente el 6% habita en zonas de menos de 6 m de altura con respecto al nivel medio del mar. En el caso de que el ritmo de subida del nivel medio del mar se mantenga las ciudades que más afectadas se verían en el año 2100 son: Santa Cruz de Tenerife, Bilbao, Santander, Las Palmas de Gran Canaria y Alicante, así como los parques naturales de Doñana, el Delta del Ebro y la albufera de Valencia que podrían llegar a desaparecer.

En la Comunidad de Cantabria no solo se vería afectado Santander, sino que localidades más pequeñas como San Vicente de la Barquera, Pedreña y el Parque Nacional de las Marismas de Santoña también se verían perjudicadas.

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

El presente proyecto surge como resultado de mi colaboración como becaria en el curso 2019/2020 en el Instituto de Hidráulica de Cantabria en el proyecto “Informe de riesgos en la costa frente al cambio climático a nivel de toda la Comunidad Autónoma de Cantabria”.

### 1.2 Objetivo

El objetivo del presente trabajo es el análisis de los efectos que la subida del nivel medio del mar, como principal driver de la inundación, pero también de los cambios en los temporales, tendrá sobre el municipio de San Vicente de la Barquera.

Para ello será necesario estudiar en detalle la exposición y vulnerabilidad. Este estudio se realizará a diferentes niveles de detalle y a través de diferentes metodologías, de forma que los resultados puedan compararse y obtenerse conclusiones acerca de la idoneidad de los distintos métodos empleados.

Una parte importante de este trabajo será la caracterización de la exposición socioeconómica del municipio de San Vicente de la Barquera a muy alta resolución, definiendo no sólo la población, sino también los usos del suelo, el valor de las edificaciones, la renta y el producto interior bruto.

Todo este análisis se realizará empleando distintas herramientas, como ArcGis o RStudio, las únicas que permiten la realización del trabajo en forma y tiempo abordable.



## 2. CASO DE ESTUDIO

El municipio de San Vicente de la Barquera está ubicado en la costa occidental de Cantabria lindando con los municipios de Valdágila, Herrerías y Val de San Vicente, y es bañado por los ríos Escudo y Gandarilla. Cuenta con una superficie aproximada de 41,04 km<sup>2</sup> y una población de 4.124 habitantes (Instituto Cántabro de Estadística, 2019).



*Figura 1. Ubicación de San Vicente de la Barquera*

Este municipio está formado por los siguientes núcleos de población:

- Abaño → Ubicado al sur del municipio a 3 km de la capital.
- La Acebosa → Se encuentra a 3 km al oeste de la capital.
- El Barcenal → Se trata del núcleo de población más pequeño, situado a 7 km al sur de la capital.
- Gandarilla → Núcleo contiguo a El Barcenal.
- Hortigal → Núcleo de población que linda con el municipio Val de San Vicente, situado a 5 km al sur de la capital.
- Los Llaos → Ubicado en el extremo noreste del municipio, a 3 km de la capital.
- La Revilla → Es el segundo núcleo de población más grande del municipio, ubicado a 4 km de la capital, cerca de Los Llaos.
- San Vicente de la Barquera → Es la capital del municipio, situado al norte de este, junto a la costa. Es el núcleo de población con mayor número de habitantes.

- Santillán → Situado a 2km al oeste de la capital.

Se trata de un municipio en el que la principal actividad económica es el sector servicios, según el ICANE, el 52,7 % de la población activa vive de él. Eso se debe a que San Vicente de la Barquera no solo es lugar de paso de la Ruta Lebaniega, sino que cuenta con cinco bienes de interés cultural los cuales son:

- Iglesia de Santa María de los Ángeles → Declarada Monumento de Interés Histórico en 1931, se encuentra ubicada en la parte alta del casco antiguo de San Vicente de la Barquera. Fue mandada construir por Alfonso VIII y se trata de una iglesia de estilo gótico, con una planta de tres naves con bóveda de crucería y alzado de dos alturas.
- Antiguo convento de San Luis → Declarado Bien de Interés Cultural en 1992, ubicado en el núcleo de San Vicente de la Barquera. Fue construido en el siglo XV y se conserva una gran parte de los muros, ábsides, bóvedas y arcos góticos, por lo que puede verse una parte de la iglesia, claustro, cocina y refectorio del convento franciscano.
- Castillo del Rey → Data del siglo VIII, construido en mampostería, con sillares en las esquinas sobre un montículo rocoso. Del el forman parte dos torres, una cuadrada situada al este y otra pentagonal al oeste, unidas por un cuerpo central que en origen estuvo abovedado. En los años noventa fue restaurado y se utiliza como sala de exposiciones y museo de la historia local.
- La Torre del Preboste → Situada junto a la puerta de la Barrera, en el lado sur de la muralla. Es un elemento que en el pasado tenía un carácter defensivo, construido de sillarejo. Durante la Edad Media era la sede para la recaudación de impuestos y posteriormente se convirtió en la cárcel pública de la villa.
- Puebla vieja → Declarada Bien de Interés Cultural en 1987, tiene un trazado irregular y en ella se encuentran todos los edificios de interés rodeados por una muralla, de la cual se pueden encontrar algunos tramos y puertas, como la de Asturias o la del Peregrino.

A los cuales hay que añadir otros puntos de interés como:

- Capilla de la Virgen de la Barquera → Forma parte del Inventario General del Patrimonio Cultural de Cantabria desde 2001. Situada junto a la entrada del puerto, data del siglo XVII. Está formada por una nave central de tres tramos formados por arcos tajones de medio punto que se apoyan sobre pilastras.

- El Lazareto de Abaño
- El Fuerte de Santa Cruz de Suaz
- Ruinas de la casa de los Corro → Conocida también como el Hospital de la Misericordia. Se trata de un edificio de estilo gótico de los siglos XV y XVI, del cual se conserva únicamente la fachada principal.
- Hospital de la Concepción → Construido en el siglo XVI por el inquisidor Antonio del Corro. En la actualidad es la sede del Ayuntamiento del municipio.
- Restos de la muralla y las puertas



*Figura 2. San Vicente de la Barquera*

El turismo del municipio no solo depende de los bienes de interés cultural anteriormente mencionados, sino que supone un punto de gran interés para los amantes de la naturaleza. Uno de los principales atractivos naturales es el Parque Natural de Oyambre, el cual ocupa una extensión de 5.800 ha. Está formado por acantilados, playas, rías, marismas y bosque caducifolios mixtos, que sirven de hábitat para diferentes especies (halcón peregrino, cormorán moñudo, alcatraces, garzas reales, focha común, aguilucho lagunero, etc.).



*Figura 3. Parque Natural de Oyambre*

Otro sector que también está muy presente es el primario, la ganadería, la agricultura y la pesca dan trabajo a un 21% de la población, especialmente el ganado bovino. Antiguamente la pesca era el principal movimiento económico del municipio, pero con el paso de tiempo esta ha ido descendiendo.

El sector secundario es el que menos presente está en el municipio. La industria ocupa al 7,7% de la población y en su mayor parte está relacionada con la manipulación de la pesca, por lo que con el paso del tiempo también ha ido perdiendo peso. Justo al contrario pasa con la construcción que ocupa al 18% de los habitantes del municipio (ICANE).

### **3. METODOLOGÍA**

### 3.1 Análisis de riesgo

En los últimos años, se ha venido observando un aumento considerable de las inundaciones. Este aumento ha resultado especialmente relevante en las zonas urbanas, debido al gran impacto negativo causando en diversos sectores (social, de servicios, económico...), lo que ha magnificado la percepción del problema.

Según la Unión Europea (EU, Climate Risk Assessment An Introduction), el análisis de riesgos climático se define como la identificación de riesgos emergentes motivados por los cambios en el clima y con el objetivo de desarrollar actividades que aprovechen las oportunidades para gestionar los efectos negativos de los mismos.

Siguiendo la definición anterior, el análisis del riesgo de inundación se está convirtiendo en la actualidad en una práctica muy utilizada para tratar de mitigar los desastres y poder evaluar sus consecuencias. Que sea una práctica recurrente no quita que se sea una práctica compleja en la que intervienen numerosas variables y difícil de caracterizar, lo que implica una alta incertidumbre en el estudio.

#### 3.1.1 Riesgo

El termino riesgo cuenta con múltiples definiciones en función de la naturaleza de su aplicación.

El IPCC define riesgo como:

*“Consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se presenta como la probabilidad de acaecimiento de fenómenos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales fenómenos o tendencias.”*

La última definición de la Oficina de las Naciones Unidad para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) es del año 2017, y lo define como:

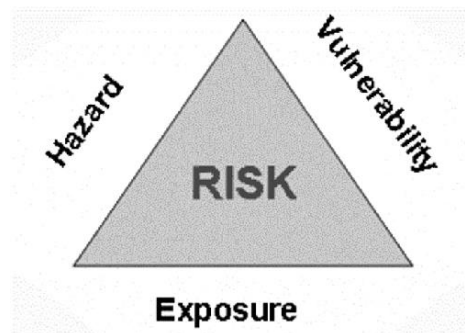
*“La posible pérdida de vidas, lesiones, destrucción o daño de bienes que podría ocurrir a un sistema, sociedad o comunidad en un período de tiempo específico, determinado probablemente en función la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad.”*

El riesgo de desastre no sólo tiene que ver con la probabilidad y la gravedad del evento de peligro, sino también con lo que se expone al peligro y lo vulnerable que es esa exposición. Por ello se puede considerar que el riesgo comprende tres elementos, amenaza, vulnerabilidad y exposición.



Para su explicación es muy frecuente emplear el triángulo del riesgo, que incluye los tres factores citados anteriormente y que entiende el riesgo como la probabilidad de un evento y las consecuencias negativas que conlleva, expresadas como el producto de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad. Por lo tanto, en el caso de que alguno de esos tres factores aumente, el riesgo también lo hará.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición}$$



*Figura 4. Triángulo de riesgo*

Se entiende por amenaza un evento físico, fenómeno y/o actividad humana potencialmente perjudicial que puede causar pérdida de vidas o lesiones, daños a la propiedad, perturbación social y económica o degradación del medio ambiente. Los peligros pueden ser únicos, secuenciales o combinados en su origen y efectos. Cuando se hace referencia a una amenaza es importante saber su magnitud, la duración, el área de extensión, la velocidad de inicio, la dispersión espacial y el espacio temporal.

La exposición se centra en las partes materiales vulnerables por el riesgo. La parte social materializándola a través de la población, la parte física mediante el uso del suelo, bienes inmuebles, infraestructuras o servicios, el factor económico a través de indicadores económicos y la parte medioambiental con la valoración de los servicios ecosistémicos.

La vulnerabilidad es la capacidad para anticiparse a los efectos de un desastre natural o provocado por el hombre que tiene una persona o un grupo de personas. Está constituida por muchos factores político-institucionales, económicos y socioculturales. Desde un punto de vista ingenieril, la vulnerabilidad se puede entender como una función matemática definida según el grado de pérdida del elemento afectado, dependiendo de la intensidad del agente.

Para el desarrollo de este proyecto se va a considerar riesgo de inundación. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) define inundación como: "Agua que excede los límites normales de un arroyo u otra masa de agua, o la acumulación de



## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

*agua sobre zonas normalmente no sumergidas". Por otro lado, la Unión Europea define la inundación costera como: "Inundación de terreno costero bajo por aguas procedentes del mar, los estuarios o los lagos costeros, y que tiene su origen en fenómenos como niveles extremos de las mareas, las marejadas o la acción de las olas".*

En el presente trabajo se toma la amenaza, en este caso el aumento de la cota de inundación, como dato y se estudiará su evolución, analizando el riesgo que conlleva.

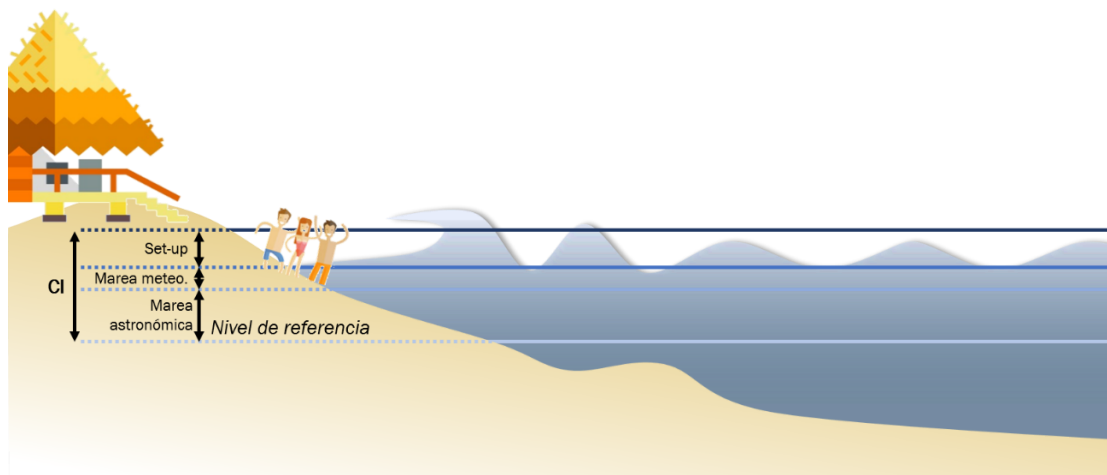
### 3.1.2 Amenaza

La inundación costera no solo depende del aumento del nivel medio del mar (ANMM), sino que también depende del oleaje, las ondas infragravitatorias, la marea meteorológica y la astronómica. La combinación de estas acciones produce un evento de inundación costera.

En este trabajo, no se va a determinar la amenaza per sé, sino que el enfoque del trabajo se centra en la caracterización de la exposición y la vulnerabilidad.

Es por ello que, para el estudio de la amenaza, se han empleado diferentes manchas de inundación de alta resolución generadas por el IHCantabria para el "Informe de riesgos en la costa frente al cambio climático a nivel de toda la Comunidad Autónoma de Cantabria", en formato RASTER con una resolución de 5 m. Para su obtención se ha realizado un análisis histórico a partir de referencias históricas del oleaje, utilizando datos del campo de viento en superficie, su prolongación y los campos de niveles de corrientes y datos históricos del nivel del mar, calibrando el modelo en base a la información de niveles medios en diferentes estaciones en la costa cántabra, y de la presencia de cursos fluviales importantes, utilizando datos de evapotranspiración potencial y de precipitación para la calibración del modelo. También se ha realizado un análisis de la peligrosidad futura mediante proyecciones de oleaje, residuo del nivel del mar y nivel medio del mar en la costa cántabra. Para ello se han analizado dos escenarios, el RCP4.5 (escenario intermedio) y el RCP8.5 (nivel alto de emisiones de gases de efecto invernadero), en dos horizontes temporales diferentes 2050 y 2100.

Se denomina cota de inundación (CI) al nivel total que alcanza el mar, que se obtiene tras combinar de manera lineal el oleaje (denominado set-up cuando es a nivel total), la marea astronómica y meteorológica y el ANMM (si se trata de una CI futura), obteniendo una serie temporal resultado de la suma de series temporales de todas las dinámicas anteriores.



*Figura 5. Componentes de la cota de inundación*

Para hallar la contribución del oleaje existen diferentes modelos que permiten obtener la hidrodinámica en la zona de rompientes con gran precisión, Liu y Losada, 2002; Losada et al., 2008; Lara et al., 2011; o bien se pueden utilizar formulaciones semi-empíricas; Stockdon et al., 2006; Pullen et al., 2007.

Por último, cuando se calcula la cota de inundación hay que tener en cuenta los efectos locales en la altura de ola debido a la presencia de obstáculos o infraestructuras de protección, ya que estos elementos generan difracción del oleaje y reducen la altura de ola, lo que a su vez hace que disminuya la contribución del oleaje a la cota de inundación. Para su estimación se emplean los ábacos de difracción del Shore Protection Manual, 1984.

Para poder obtener la cota de inundación asociada a un evento con una probabilidad o periodo de retorno determinado se realiza un ajuste extremal de las series de CI a lo largo de toda la costa, ajustándose los valores máximos anuales a una distribución de valores extremos generalizados (GEV).



*Figura 6. Mancha de inundación en HD para T=100 años*

A fin de poder comparar metodologías de caracterización de la amenaza, era objetivo del presente trabajo la comparación de las manchas de inundación descritas anteriormente con las actualmente existentes en el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) relativas a la peligrosidad de inundación. Sin embargo, una vez ya iniciado el trabajo se constató que para el municipio de San Vicente de la Barquera dicha información no está disponible, por lo que esta comparativa, considerada sin duda interesante, no ha podido ser finamente realizada.

### 3.1.3 Exposición

La exposición hace referencia a la propiedad, población, actividades económicas, etc. que se ven amenazados por un evento.

El objeto de este apartado es ver cómo afecta el riesgo de inundación a la población, usos del terreno, valor catastral, renta y PIB, analizándolo para diferentes periodos de retorno (100 y 500 años).

Para analizar y evaluar toda la información se ha trabajado con el programa ArcGis y se han analizado diferentes fuentes de datos.

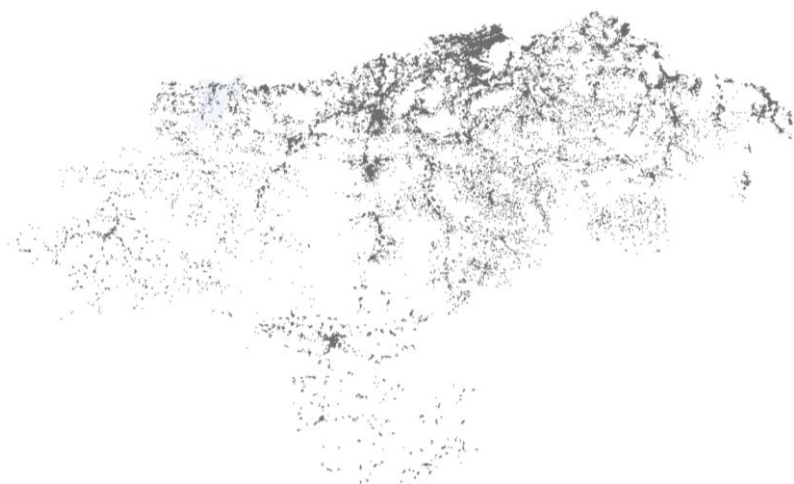
### 3.1.3.1 Población

Para caracterizar la población se ha establecido su distribución espacial y el número de personas que residen en el territorio.

Se han utilizado dos fuentes de datos diferentes. En primer lugar, se ha utilizado la información proporcionada por el Gobierno de Cantabria (censo), la cual era una capa de puntos que venía en formato GeoDataBases, y que al combinarlo con el archivo que representa los edificios construidos, también proporcionado por el Gobierno de Cantabria en formato GeoDataBases, se obtiene el número de personas que habita en cada unidad censal, representada por polígonos. De esta manera se obtiene una información bastante realista.



*Figura 7. Capa de puntos en formato GeoDataBase con información sobre la población de Cantabria*



*Figura 8. Capa de polígonos en formato GeoDataBase con la representación de los inmuebles*

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

Para relacionar ambas capas se utiliza la función “Join data from another layer based on spatial location”, la cual suma todos los puntos dentro de un mismo polígono. Como se puede observar en las figuras 7 y 8, la información proporcionada por el Gobierno de Cantabria es para toda la comunidad por lo que ha sido necesario filtrarlo para extraer la información correspondiente a San Vicente de la Barquera. Para ello en primer lugar mediante la función “Join data from another layer based on spatial location” se ha relacionado la capa Edificación + Población con otra que contiene información sobre las secciones censales, nombre del municipio, etc. Una vez unidas esas dos capas mediante la función “Select by Attributes” se filtran los datos en función del nombre del municipio.

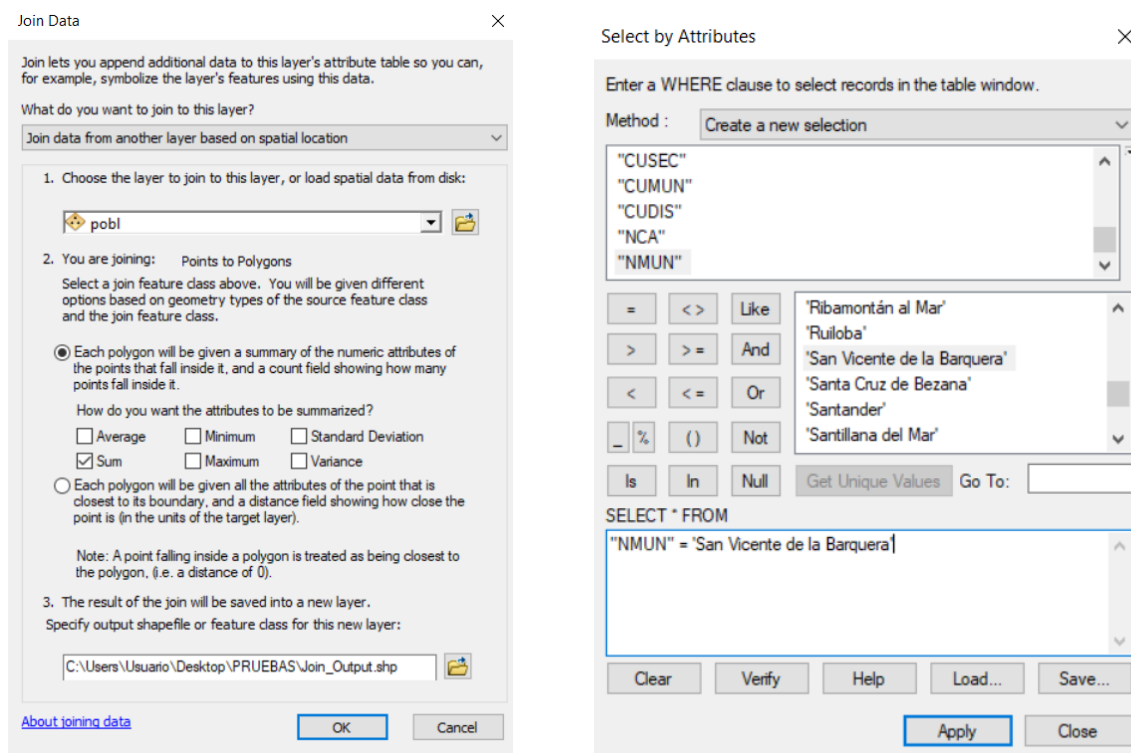


Figura 9. Funciones “Join data from another layer based on spatial location” y “Select by Attributes”

Para completar la información, del catastro se han obtenido las alturas de los edificios. Estas venían dadas en número romanos, por lo que mediante el programa RStudio se transformaron a números reales.

También se tuvo en cuenta que en el catastro no solo vienen identificados los pisos de cada edificio, sino que también sótanos, áticos, entresuelo, etc., haciendo la siguiente equivalencia en plantas:

Entidad	Símbolo	Equivalencia plantas
<b>Volúmenes bajo rasante</b>	-I, -II...	1, 2...
<b>Volúmenes sobre rasante</b>	I, II...	1, 2...
<b>Balcón</b>	B	0
<b>Balcón techado (Tribuna)</b>	T	0
<b>Terraza</b>	TZA	0
<b>Porche</b>	POR	0
<b>Soportal</b>	SOP	0
<b>Pasaje</b>	PJE	0
<b>Marquesina</b>	MAR	0
<b>Patio</b>	P	0
<b>Cobertizo</b>	CO	0
<b>Entreplanta</b>	EPT	0
<b>Semisótano</b>	SS	0
<b>Altillo</b>	ALT	1
<b>Piscina</b>	PI	0
<b>Pista de tenis</b>	TEN	0
<b>Estanque</b>	ETQ	0
<b>Estanque o balsa que se valora</b>	ZBE	0
<b>Silo</b>	SILO	0
<b>Solares o parcelas con suelo vacante</b>	SUELO	0
<b>Pérgola</b>	PRG	0
<b>Depósito</b>	DEP	0
<b>Escalera</b>	ESC	0
<b>Transformador</b>	TRF	0
<b>Jardín</b>	JD	0
<b>Jardín que se valora</b>	YJD	0
<b>Campo de futbol</b>	FUT	0
<b>Voladizo</b>	VOL	0
<b>Zona deportiva</b>	ZD	0
<b>Ruinas</b>	RUINA	0
<b>En construcción</b>	CONS	1
<b>Obras de urbanización interior</b>	ZPAV	0

Tabla 1. Tipos de alturas según el catastro

El código utilizado para hacer la transformación descrita es el siguiente:

```
library(rgdal)

library(raster)

alturas_catastro <- readOGR("ruta de acceso")

# Código en SHP

alturas_catastro$ALTURAS <- 0
```

```
alturas_catastro$CONSTRU[is.na(alturas_catastro$CONSTRU)] <- 0 #Eliminar NAs

for (i in 1:length(alturas_catastro$CONSTRU)) {

  alturas.value <- 0

  aux.char <- strsplit(as.character(alturas_catastro$CONSTRU[i]), "[+]" )

  niter <- length(aux.char)

  for (j in 1:niter) {

    if (grepl("^M{0,4}(CM|CD|D?C{0,3})(XC|XL|L?X{0,3})(IX|IV|V?I{0,3})$", aux.char[[1]][j],
      ignore.case = FALSE)){

      alturas.value <- alturas.value + as.numeric(as.roman(sub("-", "", aux.char[[1]][j], ignore.case =
        FALSE)))) # Que hacer SI es numero romano

      # sub() cambia los negativos por positivos as.roman() transforma en numero entero

    } else if (grepl("^\\b[S|T|E]\\b", aux.char[[1]][j], ignore.case = FALSE)){

      alturas.value <- alturas.value + 1 # Que hacer SI es SOTANO, TERRAZA, ENTRESUELO

    } else if (aux.char[[1]][j] == "SS"){

      alturas.value <- alturas.value + 2 # Que hacer SI es DOBLE SOTANO

    } else if (aux.char[[1]][j] == "3S"){

      alturas.value <- alturas.value + 3 # Que hacer SI es TRIPLE SOTANO

    } else {

      alturas.value <- alturas.value + 0 # Que hacer SI es OTRA COSA

    }

  }

  alturas_catastro$ALTURAS[i] <- alturas.value

}

writeOGR(obj=alturas_catastro, dsn="ruta de acceso",

  layer="Cant_coast_constru_EdifAlturas_v2020",

  driver="ESRI Shapefile", overwrite_layer=TRUE)
```

Lo que hace el código es cargar en primer lugar la capa del catastro que contiene las edificaciones con las alturas en números romanos en formato shape, a continuación, en los ciclos for e if se produce la transformación de números romanos a reales y por último se crea un nuevo archivo shape con las alturas de las edificaciones en números reales.

Una vez hecha la transformación de números romanos a reales para computar las alturas sobre los edificios se hace la siguiente media:



$$Altura = \frac{Altura\ mínima + Altura\ máxima + (4 * Altura\ media)}{6}$$

En el caso de que la media de las alturas sea igual a cero, se establecerá que la altura sea al menos uno. Para ello se utiliza el siguiente código en el que en primer lugar se carga la capa en formato shape con las alturas en números reales, a continuación, se hace la media de las alturas y en el caso de que esta sea igual a cero se establece que la altura sea 1 y por último se crea un nuevo archivo en formato shape con los cambios:

```
# Código para computar alturas sobre edificios del BTN obtenido

alturas_BTN <- readOGR("ruta de acceso")

alturas_BTN$ALTURA <- round((alturas_BTN$Min_ALTURA + alturas_BTN$Max_ALTURA +
4*alturas_BTN$Avg_ALTURA)/6,

digits = 0)

alturas_BTN$ALTURA[alturas_BTN$ALTURA==0] <- 1

writeOGR(obj=alturas_BTN, dsn="ruta de acceso",

layer="BTN_Edificios_Costa_Alturas",

driver="ESRI Shapefile", overwrite_layer=TRUE)
```

El resultado tras aplicar los códigos es el siguiente:

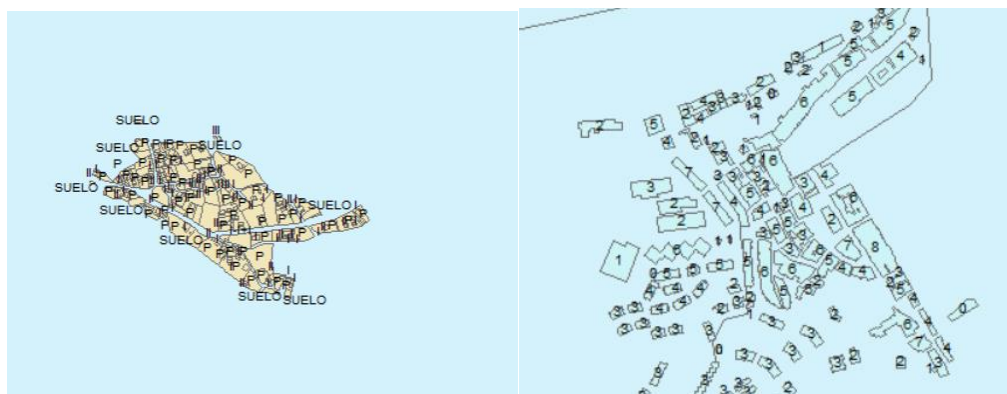
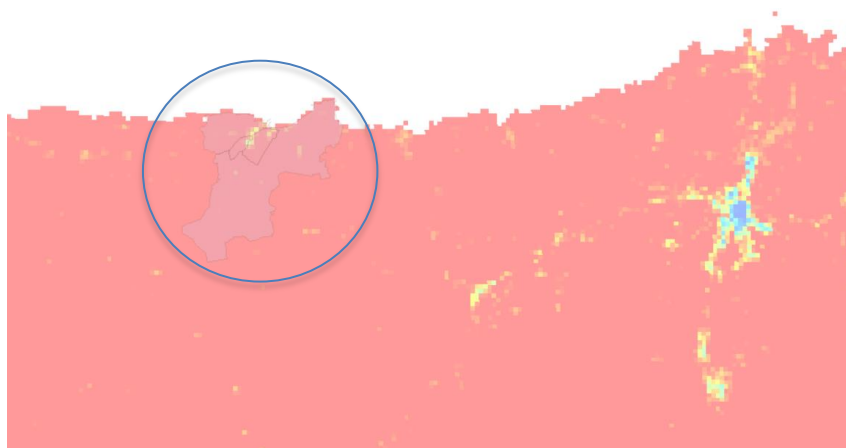


Figura 10. Alturas tras la aplicación del código

Por otro lado, se ha utilizado la información procedente del Global Human Settlement, que es una plataforma que dispone de datos de toda la población del mundo, pero con un nivel de detalle inferior a otras más concretas, lo que provoca que haya diferencias en función de que base de datos se utilice. De esta se obtiene la exposición genérica de la población, expresada como el número de personas por celda, en formato RASTER con una resolución de 250 m. Este tipo de mapas de asentamiento europeos se han obtenido a partir de imágenes de mayor resolución.





*Figura 11. Exposición genérica con una resolución de 250 m*

### 3.1.3.2 Activos socioeconómicos

Para caracterizar las variables socioeconómicas se ha tenido en cuenta tanto los activos construidos, los cuales se dividen en: comercio, cultura, deporte, enseñanza, hoteles, manufactura, ocio, oficinas, religioso, residencial y sanitario, como el valor catastral, la renta y el PIB.

#### 3.1.3.2.1 Activos construidos

El diccionario Economipedia define activo como:

*“Recurso con valor que alguien posee con la intención de que genere un beneficio futuro, sea económico o no”.*

Por lo tanto, se entiende que los activos construidos son todos aquellos bienes inmuebles que con el paso del tiempo van a generar una serie de beneficios a sus propietarios.

La información relativa a la superficie ocupada ha sido proporcionada por el Gobierno de Cantabria en formato GeoDataBases. Al igual que todos los datos proporcionados por el Gobierno estos eran de toda la comunidad, por lo que ha sido necesario filtrarlos para extraer aquellos que son objeto de estudio.

Estas capas contenían información sobre la superficie construida en función de su uso.

USOS DEL SUELO
Comercia
Cultural
Deportivo
Enseñanza
Hotelero
Manufactura
Ocio
Oficinas
Religión
Residencial
Sanidad

Tabla 2. Usos del suelo

### 3.1.3.2.2 Valor catastral

La RAE define valor catastral como:

*“Valor técnico del suelo y de las construcciones en los inmuebles rústicos y urbanos y de características especiales, elaborado por el Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria, que sirve de base imponible al impuesto sobre bienes inmuebles y como valor de referencia en otros tributos”.*

Este valor depende de los factores siguientes:

- Localización de la finca
- Circunstancias urbanísticas
- Explotación del terreno
- Productividad de la zona
- Costes de construcción
- Honorarios profesionales
- Calidad y antigüedad de la edificación
- Carácter histórico o patrimonial
- Gastos de producción y beneficios de la actividad empresarial
- Valor de mercado
- Valor del suelo

Esta información fue proporcionada por el Gobierno de Cantabria en formato GeoDataBases. Estos datos también eran de toda la comunidad por lo que mediante la función “Select by Attributes” se filtraron en función del nombre del municipio y una vez seleccionados, mediante la herramienta “Join attribute from a talbe” se relacionó con los activos construidos en función del número de parcela.

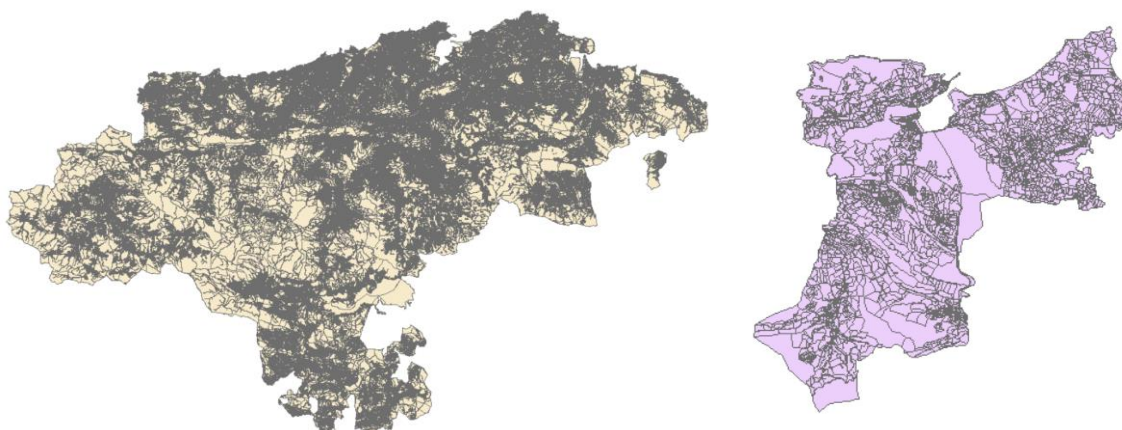


Figura 12. Capas en formato GeoDataBase con la información del valor catastral de toda Cantabria y, una vez filtrados, de San Vicente de la Barquera

### 3.1.3.2.3 Renta

La RAE define renta como:

*“Utilidad o beneficio que rinde anualmente algo, o lo que de ello se cobra”.*

Este indicador económico da información sobre el nivel de vida de la población, indicando su capacidad de gasto y ahorro.

En este caso se va a trabajar con la renta bruta disponible per cápita que proporciona información más adecuada a la capacidad de gasto y ahorro de la economía doméstica de la población, así como de los procesos de redistribución y transferencia que existen en la economía.

Los datos obtenidos del INE venían dados en función de la sección censal, existiendo únicamente cuatro en San Vicente de la Barquera.

Sección censal	Renta per Cápita año 2019 (€)
3908001001	10955,406
3908001002	9111,978
3908001003	10251,233
3908001004	10738,896

Tabla 3. Renta per Cápita en función de la sección censal

La relación con los activos construidos se ha llevado a cabo en una hoja Excel por medio de expresiones condicionales, y se ha podido calcular la renta media de cada inmueble multiplicándolo por el número de personas que habitan en estos. La expresión condicional utilizada es la siguiente:

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

= si(sección censal = 3908001001; 10955,406; Si(sección censal = 3908001002; 9111,978; si(sección censal = 3908001003; 10251,233; 10738,896))).

### 3.1.3.2.4 PIB

El PIB es el indicador más utilizado para analizar la economía y representa los bienes y servicios producidos en un periodo de tiempo determinado.

Ante la falta de datos del Producto Interior Bruto a nivel municipal se ha realizado una estimación con el programa R Studio. Para ello se han recopilado series de datos del año 2000 al 2018 del PIB, el valor catastral, el número de asalariados, la renta y la renta per cápita de las siguientes comunidades autónomas: Cantabria, Asturias, Galicia, País Vasco, Castilla y León, La Rioja y Murcia.

Para ello a través del siguiente código se han relacionado los datos del PIB con el resto de las variables a través de una regresión lineal. Lo que hace el código es coger de una hoja Excel el valor de la variable a estudiar para cada año, y con eso sacar la regresión lineal.

```
library(readxl)

Datos_Macro_R <- read_excel("ruta de acceso")

PIB_CATASTRO <- lm(Datos_Macro_R$PIB ~ Datos_Macro_R$Catastral)

summary(PIB_CATASTRO)

PIB_ASALARIADOS <- lm(Datos_Macro_R$PIB ~ Datos_Macro_R$Asalariados)

summary(PIB_ASALARIADOS)

PIB_RENTA <- lm(Datos_Macro_R$PIB ~ Datos_Macro_R$Renta)

summary(PIB_RENTA)

PIB_RENTAPERCAPITA <- lm(Datos_Macro_R$PIB ~ Datos_Macro_R$RentaPerCapita)

summary(PIB_RENTAPERCAPITA)

PIB_TOTAL <- lm(Datos_Macro_R$PIB ~ Datos_Macro_R$Asalariados + Datos_Macro_R$Catastral +
Datos_Macro_R$Renta + Datos_Macro_R$RentaPerCapita)

summary(PIB_TOTAL)
```

El programa nos da los resultados en el siguiente formato:

```
Call:
lm(formula = Datos_Macro_R$PIB ~ Datos_Macro_R$Catastral)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.604e+10 -8.404e+09 -1.934e+09  5.353e+09  4.280e+10

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    2.292e+09  2.586e+09   0.887   0.378
Datos_Macro_R$Catastral 5.514e-01  4.132e-02  13.344 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.075e+10 on 69 degrees of freedom
(62 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.7207,    Adjusted R-squared:  0.7167
F-statistic: 178.1 on 1 and 69 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

*Figura 13. Resultados de una de las variables*

Como se puede observar en la figura 13, en el apartado “Coefficients” los primeros valores que se obtienen son los parámetros estimados de la regresión (Estimate). El intercepto nos da el valor  $\alpha$  de la ecuación y el resto de las variables nos dan su  $\beta$  correspondiente, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$\text{Estimado} = \alpha (\text{intercepto}) + \beta_1 (\text{variable 1}) + \beta_2 (\text{variable 2}) + \dots + \beta_i (\text{variable } i)$$

En la siguiente columna encontramos el error estándar (Std. Error) que nos da la desviación del valor estimado, cuanto mayor sea ese valor, mayor será el intervalo de confianza y por lo tanto la estimación obtenida será menos fiable.

Las dos siguientes columnas, la primera t de student y la segunda el “p-valor”, nos dan estadísticos de confianza. Se considera que la estimación es fiable cuando el “p-valor” es menor de 0,05%, cuanto menos sea, más representativo será el valor. Al lado de esta última columna pueden aparecer una serie de asteriscos que nos indican el grado de significancia del valor de acuerdo con la escala que aparece debajo.

Por último, aparecen más estadísticos generales, el error residual estándar (residual standard error), que nos dice cuánto se distancian los puntos los puntos de media con respecto a la estimación, y los  $r^2$  que reflejan la bondad del ajuste, cuanto más próximo a 1 esté mejor será el ajuste. Debajo de estos aparecen los parámetros F de Snedecor y p-valor, pero estos nos quedaremos con los valores de  $r^2$ .

### 3.1.3.2.4.1 *Análisis de resultados*

A continuación, se procederá a analizar los resultados obtenidos en función de las diferentes variables utilizadas.

De la relación del PIB con el valor catastral obtenemos la siguiente ecuación:

$$PIB\ estimado = 2,292 \cdot 10^9 + 5,514 \cdot 10^{-1} \cdot valor\ catastral$$

Analizando el intercepto, el error estándar nos da un intervalo de confianza muy grande y su “p-valor” es 0,378, superior a 0,05. En cuanto a la variable  $\beta$ , obtenemos un intervalo de confianza muy pequeño y su “p-valor” es  $2 \cdot 10^{-16}$  con tres asteriscos al lado, lo que indica que es un valor muy representativo. Por último, analizando el  $r^2$  obtenemos un ajuste de 0,7167 que puede ser considerado adecuado.

De la relación del PIB con el número de asalariados obtenemos la siguiente ecuación:

$$PIB\ estimado = 6,633 \cdot 10^9 + 6,888 \cdot 10^4 \cdot número\ de\ asalariados$$

Analizando el intercepto, el error estándar nos da un intervalo de confianza muy grande, en cambio su “p-valor” es 0,0305, inferior a 0,05 y con un asterisco al lado, lo que indica que el valor empieza a ser representativo. En el caso de la variable  $\beta$ , el intervalo de confianza es menor que en el caso del intercepto y su “p-valor” es muy bueno,  $2 \cdot 10^{-16}$  con tres asteriscos al lado, lo que indica que es un valor muy representativo. Por último, obtenemos un valor de  $r^2$  igual a 0,6177.

En cuanto a la relación del PIB con la renta, obtenemos el siguiente ajuste lineal:

$$PIB\ estimado = -3,374 \cdot 10^{-8} + 1,565 \cdot 10^0 \cdot renta$$

El error estándar del intercepto indica un intervalo de confianza muy grande y su “p-valor” es 0,278, por lo que está fuera del intervalo aceptable. En cambio, el intervalo de confianza de la variable  $\beta$  es muy pequeño y su “p-valor” es muy bueno,  $2 \cdot 10^{-16}$  con tres asteriscos al lado, siendo un valor muy representativo. En cuanto al valor de  $r^2$ , 0,9954, nos indica que es un buen ajuste.

Relacionando el PIB con la renta per cápita obtenemos la siguiente ecuación:

$$PIB\ estimado = 1,040 \cdot 10^{10} + 1,712 \cdot 10^6 \cdot renta\ per\ cápita$$

El intervalo de confianza del intercepto y de la variable  $\beta$  son bastante grandes, en cambio, el “p-valor” del intercepto, 0,458 no se encuentra dentro del intervalo aceptable, a diferencia del de la variable  $\beta$ , 0,078, el cual comienza a ser algo relevante. Por último, obtenemos un valor de  $r^2$  muy malo, 0,02565 que se encuentra muy lejos de 1.

Por último, relacionando el PIB con todas las variables anteriores a la vez obtenemos el siguiente ajuste:

$$PIB_{estimado} = 1,511 \cdot 10^9 + 6,726 \cdot 10^2 \cdot \text{número de asalariados} - 5,875 \cdot 10^{-3} \cdot \text{valor catastral} + 1,54 \cdot 10^0 \cdot \text{renta} - 1,139 \cdot 10^5 \cdot \text{renta per cápita}$$

El intervalo de confianza del intercepto, del número de asalariados y de la renta per cápita es muy grande, a diferencia de el del valor catastral y la renta. En cuanto al “p-valor” todos se encuentran fuera del intervalo a excepción de la renta,  $2 \cdot 10^{-16}$  con tres asteriscos al lado, indicándonos que es un valor muy representativo. Finalmente, el valor de  $r^2$  es muy bueno, 0,9964.

#### 3.1.3.2.4.2 Resultados

Con todo lo anterior se ha considerado que los mejores ajustes son:

- Relación del PIB con todas las variables
- Relación del PIB con el número de asalariados
- Relación del PIB con la renta

Basándonos el  $r^2$  de las tres opciones se descarta la relación del PIB con el número de asalariados. Comparando las otras dos opciones, la relación del PIB con todas las variables tiene el mejor  $r^2$ , pero el intervalo de confianza solamente es bueno el del valor catastral y el de la renta. Por ese motivo se ha determinado que el mejor ajuste es el relacionado con la renta, del cual se obtiene la siguiente expresión:

$$PIB_{estimado} = -3,374 \cdot 10^{-8} + 1,565 \cdot 10^0 \cdot \text{renta}$$

Sección censal	Renta per Cápita año 2019 (€)	PIB estimado (€)
3908001001	10955,406	17.145,210
3908001002	9111,978	14.260,246
3908001003	10251,233	16.043,179
3908001004	10738,896	16.806,372

Tabla 4. Renta y PIB estimado

La relación con los activos construidos se ha llevado a cabo en una hoja Excel mediante la siguiente expresión condicional:

$$= si(sección censal = 3908001001; 17145,210; Si(sección censal = 3908001002; 14260,246; si(sección censal = 3908001003; 16043,179; 16806,372))).$$

### 3.1.4 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se entiende como la propensión de la exposición a verse afectada por una amenaza determinada, ocasionando daños sobre los bienes materiales o sobre las personas. El estudio de la vulnerabilidad busca establecer esa relación que existe entre la intensidad de la amenaza y los daños finales observados sobre la exposición.

En este trabajo, se analizará la vulnerabilidad frente a la inundación, tomando como amenaza la inundación costera.

Para su análisis se han establecido, a partir de “Global flood Depth-damage functions” del JRC technical reports (2017), unas funciones de predicción de daños. Al no haber datos concretos para España se han utilizado los datos generales para Europa.

Este tipo de curvas lo que hace es cuantificar en función del nivel de amenaza ante el activo que se encuentra expuesto el daño que sufre.

#### 3.1.4.1 Población

A la hora de caracterizar la vulnerabilidad de la población no tiene sentido estudiar la amenaza como un daño gradual, ya que una persona se va a ver afectada de igual manera cuando la inundación sea de 0,3 m o de 1 m. Por este motivo la curva de vulnerabilidad de la población se caracteriza por ser tipo umbral, en la cual se determina a partir de qué punto la población se ve afectada por dicha amenaza.

En este estudio lo que se ha hecho ha sido cuantificar el número de personas que cuando la cota de inundación alcanza un determinado umbral se ven obligadas a abandonar su lugar de residencia.

Los umbrales establecidos han sido 0 m, con lo que se identifica a toda la población ubicada en la zona inundable, 0,15, 0,3 y 0,5.

El análisis de la población afectada se ha llevado a cabo en Excel utilizando la siguiente expresión condicional:

$$= si(conta\ de\ inundación \geq 0,3; 1; 0)$$

con la cual, en el caso de que la cota de inundación sea inferior al umbral se valora con 0 y si es igual o superior al umbral 1. Una vez obtenido eso se multiplicaba por el número de habitantes de cada parcela, consiguiendo así el número total de personas afectadas para cada umbral.



### 3.1.4.2 Activos socioeconómicos

Para caracterizar es stock físico construido se han desarrollado curvas de vulnerabilidad para determinar el impacto en los sectores residencial, comercio, industria, infraestructuras y manufactura.

#### 3.1.4.2.1 Residencial

A partir de la curva obtenida del estudio realizado por la Unión Europea en 2017, en el cual se determinan las funciones de daño ante el riesgo de inundación, se ha realizado el análisis.

Para ello, utilizando la curva de otras ciudades que aparece en la figura 14, se ha obtenido el factor de daño para diferentes cotas de inundación, con lo que posteriormente se ha obtenido una representación similar de la curva, dividida en tramos rectos a partir de las ecuaciones de esos tramos.

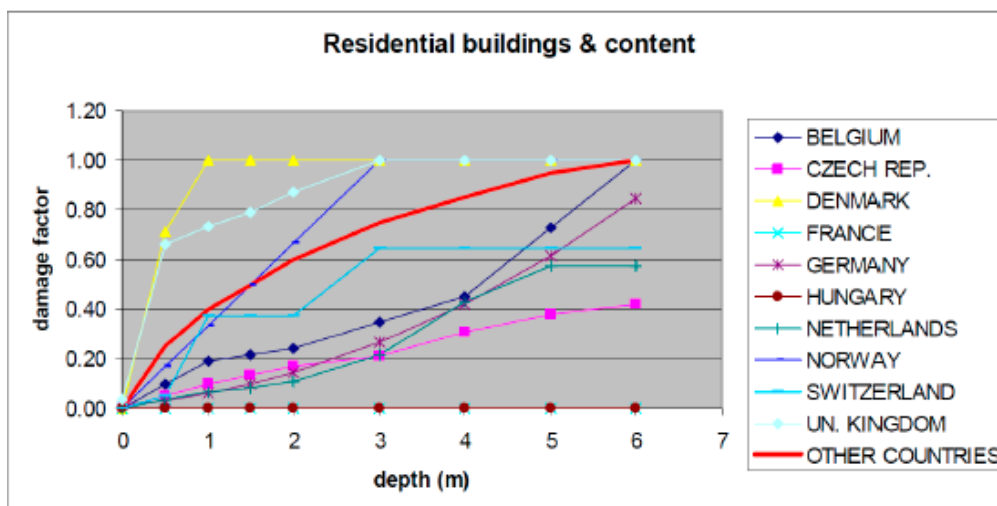


Figura 14. Factor de daño asociado a los activos residenciales. Estudio realizado por la Unión Europea (2017)

Profundidad (m)	Factor de daño
0	0
0,5	0,25
1	0,40
2	0,60
3	0,75

Tramo	Ecuación de la recta
1	$y = 0,5x$
2	$y = 0,1 + 0,3x$
3	$y = 0,2 + 0,2x$
4	$y = 0,3 + 0,15x$

Tabla 5. Factor de daño asociado a la cota de inundación y ecuaciones de la recta en función del tramo

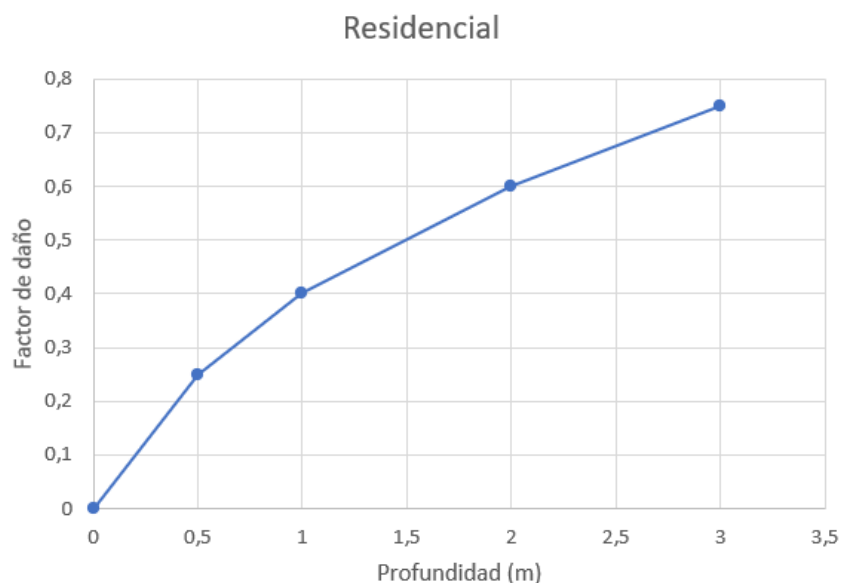


Figura 15. Función de daño utilizada para el análisis de los activos residenciales

Una vez obtenida la función de daño, en una hoja Excel se ha obtenido el factor de daño para cada parcela y se ha multiplicado este por la superficie de la misma para obtener la superficie total afectada destinada a uso residencial.

#### 3.1.4.2.2 Comercio

La metodología seguida para obtener la función de daño es la misma que para el caso de los activos residenciales.

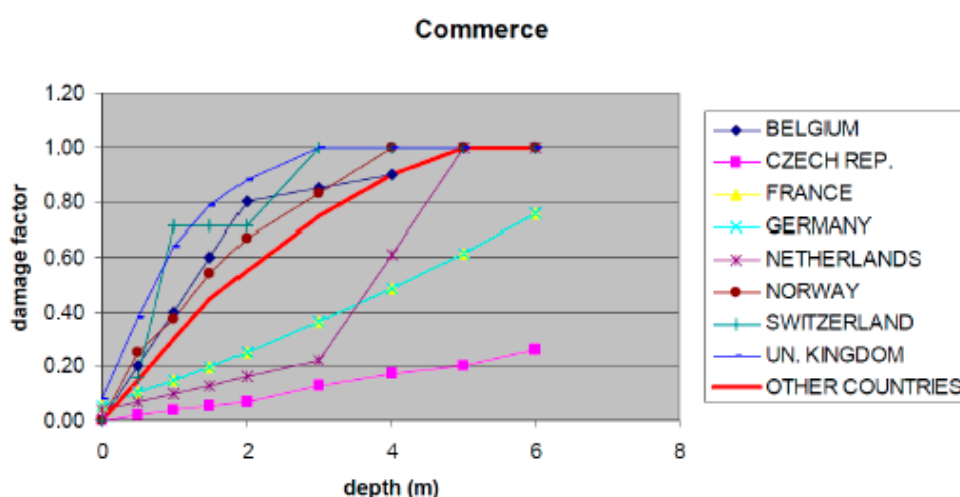


Figura 16. Factor de daño asociado a los activos comerciales. Estudio realizado por la Unión Europea (2017)

Profundidad (m)	Factor de daño
0	0
1,5	0,45
3	0,75

Tramo	Ecuación de la recta
1	$y = 0,3x$
2	$y = 0,15 + 0,2x$

Tabla 6. Factor de daño asociado a la cota de inundación y ecuaciones de la recta en función del tramo

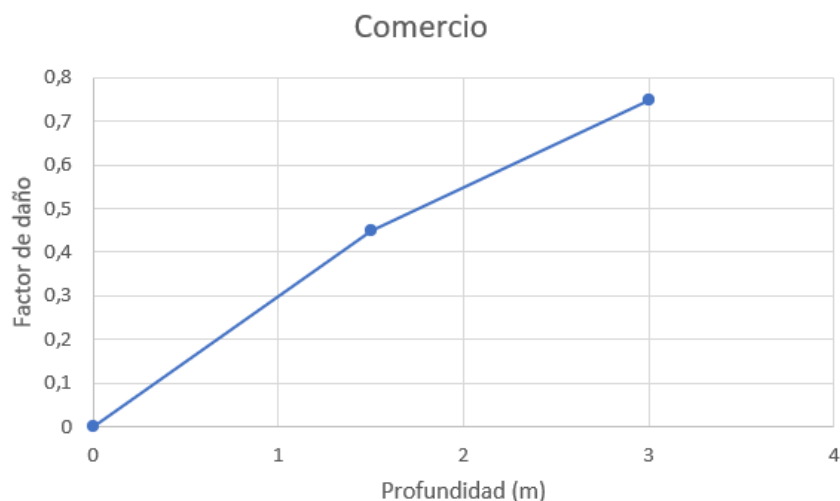


Figura 17. Función de daño utilizada para el análisis de los activos comerciales

Una vez obtenida la función de daño, en una hoja Excel se ha obtenido el factor de daño para cada parcela y se ha multiplicado este por la superficie de la misma para obtener la superficie total afectada destinada a uso comercial.

#### 3.1.4.2.3 Industria

La metodología seguida para obtener la función de daño es la misma que para los casos anteriores.

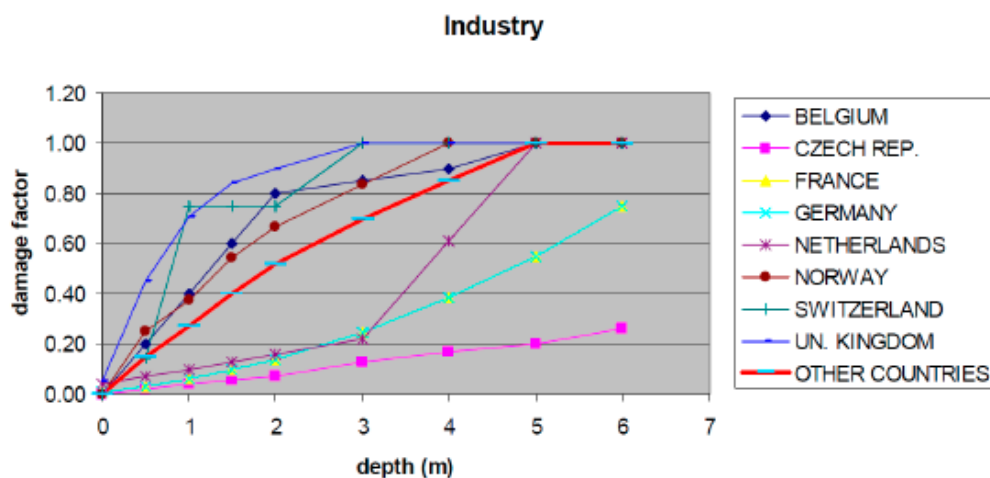


Figura 18. Factor de daño asociado a los activos industriales. Estudio realizado por la Unión Europea

(2017)

Profundidad (m)	Factor de daño
0	0
0,5	0,15
1	0,28
2	0,53
3	0,70

Tramo	Ecuación de la recta
1	$y = 0,3x$
2	$y = 0,02 + 0,26x$
3	$y = 0,03 + 0,25x$
4	$y = 0,19 + 0,17x$

Tabla 7. Factor de daño asociado a la cota de inundación y ecuaciones de la recta en función del tramo

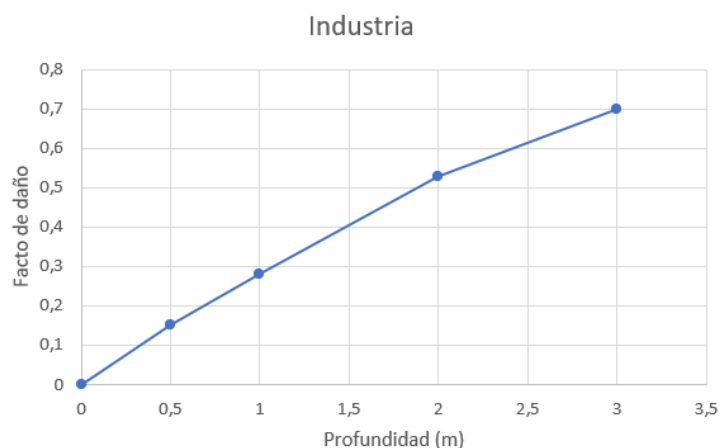


Figura 19. Función de daño utilizada para el análisis de los activos industriales

Una vez obtenida la función de daño, en una hoja Excel se ha obtenido el factor de daño para cada parcela y se ha multiplicado este por la superficie de la misma para obtener la superficie total afectada destinada a uso industrial.

#### 3.1.4.2.4 Infraestructura

La metodología seguida para obtener la función de daño es la misma que para los casos anteriores.

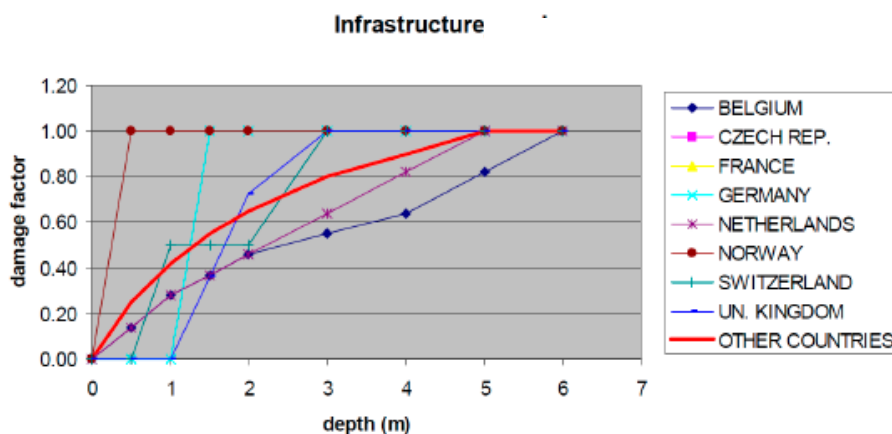


Figura 20. Factor de daño asociado a las infraestructuras. Estudio realizado por la Unión Europea (2017)

Profundidad (m)	Factor de daño
0	0
0,5	0,25
1	0,44
1,5	0,55
2	0,65
3	0,80

Tramo	Ecuación de la recta
1	$y = 0,5x$
2	$y = 0,06 + 0,38x$
3	$y = 0,22 + 0,22x$
4	$y = 0,25 + 0,2x$
5	$y = 0,35 + 0,15x$

Tabla 8. Factor de daño asociado a la cota de inundación y ecuaciones de la recta en función del tramo

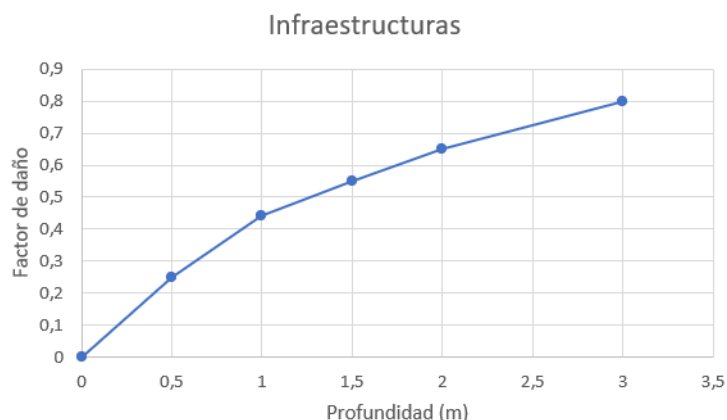


Figura 21. Función de daño utilizada para el análisis de las infraestructuras

Una vez obtenida la función de daño, en una hoja Excel se ha obtenido el factor de daño para cada parcela y se ha multiplicado este por la superficie de la misma para obtener la superficie total afectada destinada a uso de infraestructuras.

#### 3.1.4.2.5 Manufactura

La metodología seguida para obtener la función de daño es la misma que para los casos anteriores.

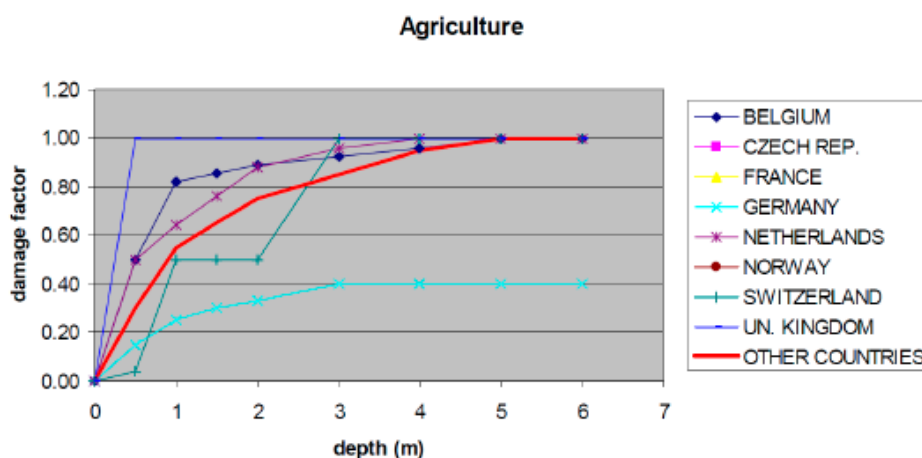


Figura 22. Factor de daño asociado a la manufactura. Estudio realizado por la Unión Europea (2017)

Profundidad (m)	Factor de daño
0	0
0,5	0,32
1	0,55
2	0,76
4	0,94

Tramo	Ecuación de la recta
1	$y = 0,64x$
2	$y = 0,09 + 0,46x$
3	$y = 0,34 + 0,21x$
4	$y = 0,58 + 0,09x$

Tabla 9. Factor de daño asociado a la cota de inundación y ecuaciones de la recta en función del tramo

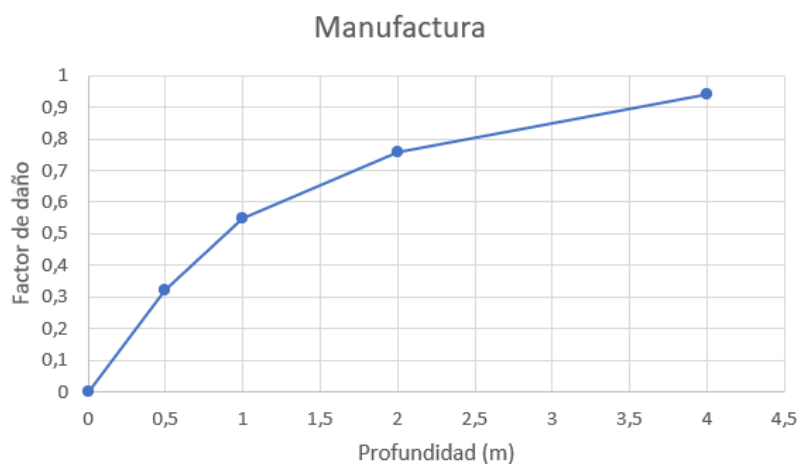


Figura 23. Función de daño utilizada para el análisis de la manufactura

Una vez obtenida la función de daño, en una hoja Excel se ha obtenido el factor de daño para cada parcela y se ha multiplicado este por la superficie de la misma para obtener la superficie total afectada destinada a la manufactura.

## 4. ANÁLISIS COMPARATIVO

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

Este apartado busca realizar la comparación de los resultados que se obtienen combinando diferentes enfoques de exposición y vulnerabilidad, tal y como se han descrito anteriormente.

Para ello, se han ejecutado y analizado tres casos distintos, centrando el análisis en la obtención del riesgo sobre la población:

- CASO 1: exposición de alta resolución (utilizando la información sobre la capa de edificios) y umbral de vulnerabilidad fijado en 0,3m.
- CASO 2: exposición de 250m de resolución (utilizando la capa del Global Human Settlement) y umbral de vulnerabilidad fijado en 0,3m.
- CASO 3: exposición de alta resolución (utilizando la información sobre la capa de edificios) y distintos valores del umbral de vulnerabilidad.

En todos los casos se han utilizado las mismas manchas de inundación (amenaza), correspondientes a los periodos de retorno de 100 y 500 años.

La comparación de estos casos, utilizando el Caso 1 como referencia, nos deberá servir para determinar las diferencias entre los dos enfoques de exposición, así como la sensibilidad de la población frente a distintas cotas de inundación.

### 4.1 Caso 1

En este primer caso se va a comparar la exposición de los edificios con las manchas de inundación en HD utilizando un umbral de 0,3 m.

Para ello, lo primero que se ha hecho ha sido juntar toda la información necesaria en una única capa en formato Shape. Esto se ha realizado utilizando dos funciones del programa ArcMap, la primera "Join attribute from a table" y la segunda "Join data from another layer based on spatial location", en función del formato en el que se encontrasen los datos que se querían añadir a esa única capa.

Una vez obtenida esa capa se exportó toda la información a una hoja Excel en la cual se añadió la siguiente información: renta, PIB y factor de daño en función del uso del terreno.

La población y la superficie en función del uso del terreno afectadas se calcula tal y como se ha explicado en el apartado 3.1.4. Vulnerabilidad.



Para obtener el valor catastral afectado se estableció que, si la superficie afectada era mayor que cero, el valor catastral afectado era el total, mientras que si era menor este no se veía afectado. Para ello se utilizó la siguiente expresión condicional en una hoja Excel:

$$= \text{si}(\text{superficie afectada} > 0; \text{valor catastral}; 0)$$

En el caso de la renta afectada, también en la hoja Excel, se multiplicó la renta per cápita por la población afectada. Lo mismo se hizo con el PIB.

Por tanto, la información que contiene la hoja Excel y que va a servir para realizar el análisis es la siguiente:

INFORMACIÓN	UNIDAD
ID de la parcela	-
Código de la sección censal	-
Código del municipio	-
Superficie dedicada al comercio	m <sup>2</sup>
Superficie dedicada a la cultura	m <sup>2</sup>
Superficie dedicada al deporte	m <sup>2</sup>
Superficie dedicada a la enseñanza	m <sup>2</sup>
Superficie dedicada al sector hotelero	m <sup>2</sup>
Superficie dedicada a la manufactura	m <sup>2</sup>
Superficie dedicada al ocio	m <sup>2</sup>
Superficie dedicada a oficinas	m <sup>2</sup>
Superficie dedicada al uso residencial	m <sup>2</sup>
Superficie dedicada al culto religioso	m <sup>2</sup>
Superficie dedicada a la sanidad	m <sup>2</sup>
Área total construida	m <sup>2</sup>
Población	Habitantes
Valor catastral	€
Altura de los inmuebles	m
Renta per cápita	€/persona
Renta por hogar	€/vivienda
PIB estimado	€/persona
Cota de inundación para T = 100	m
Cota de inundación para T = 500	m
Población afectada	Habitantes
Factor de daño por usos del terreno	-
Superficie afectada por usos del terreno	m <sup>2</sup>
Superficie total afectada	m <sup>2</sup>
Valor catastral afectado	€
Renta población afectada	€
PIB estimado población afectada	€

Tabla 10. Información necesaria para analizar el caso 1

## 4.2 Caso 2

Tanto la exposición genérica como las manchas de inundación en HD están en formato raster pero en diferente definición, la primera tiene una resolución de 250 m, mientras que la segunda de 5 m. Por ello, para poder analizar este caso lo primero que se hizo fue, mediante la herramienta “Resample” en ArcMap, se mejoró la resolución de la exposición genérica de la población pasando de 250 m a 5m.

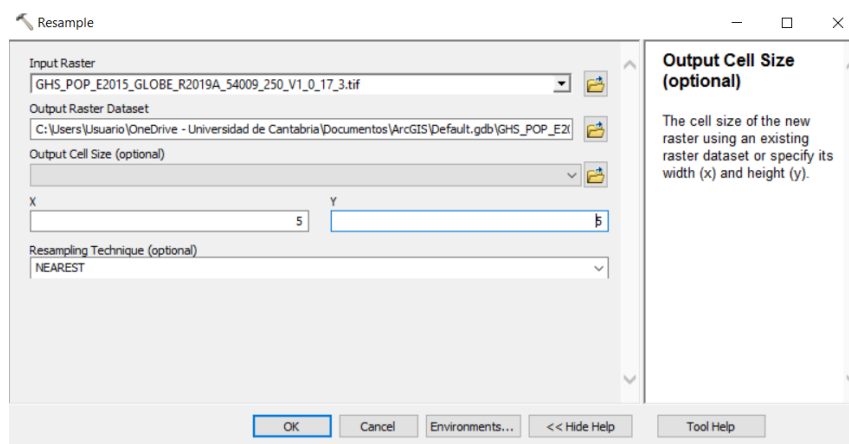


Figura 24. Función “Resample”

Una vez que ambos elementos se encontraban en la misma definición, utilizando la función “Zonal Statistics as Table” se ha obtenido una tabla en la cual se ha imputado la población al edificio correspondiente y se ha exportado a una hoja Excel.

Como en el caso anterior ya se había relacionado la cota de inundación con el número de la parcela, lo único que se hizo fue copiar la columna de una hoja Excel a otra.

En este caso únicamente se analizará la población afectada para un umbral igual a 0,3 m que se obtiene de acuerdo con lo explicado en el apartado 3.1.4.1. Población.

Por tanto, la información que contiene la hoja Excel es la siguiente:

INFORMACIÓN	UNIDAD
ID de la parcela	-
Superficie construida	m <sup>2</sup>
Población	Habitantes
Cota de inundación para T=100	m
Cota de inundación para T = 500	m
Población afectada	Habitantes

Tabla 11. Información necesaria para analizar el caso 2

### 4.3 Caso 3

La información utilizada para analizar este caso es similar a la del caso uno con la diferencia de que en este únicamente se hace un análisis de la población afectada para diferentes umbrales. Por ello, a partir de la hoja Excel del caso 1, se obtiene la población afectada de acuerdo con lo explicado en el apartado 3.1.4.1. Población, para los siguientes umbrales: 0 m, 0,15 m, 0,3 m y 0,5 m.

Por lo tanto, la información recogida en la hoja Excel es la siguiente:

INFORMACIÓN	UNIDAD
ID de la parcela	-
Población	Habitantes
Cota de inundación para T=100	m
Cota de inundación para T = 500	m
Población afectada para umbral 0 m	Habitantes
Población afectada para umbral 0,15 m	Habitantes
Población afectada para umbral 0,3 m	Habitantes
Población afectada para umbral 0,5 m	Habitantes

*Tabla 12. Información necesaria para analizar el caso 3*

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El análisis de los resultados se va a realizar a continuación en base a distintos elementos socioeconómicos.

Para empezar, si se centra la comparativa en la superficie inundada, se observa como era de esperar las áreas que experimentan una mayor inundación son las más próximas a la costa, aunque por la situación del municipio en un estuario, la inundación también penetra en el interior del mismo, determinándose que para T=100 años la cota de inundación máxima es igual a 1,5 m y la mínima a 0,012 m; y para T= 500 años la cota máxima es de 1,72 m y la mínima de 0,034 m.

	T=100	T=500
<b>Cota de inundación máxima (m)</b>	1,50	1,72
<b>Cota de inundación mínima (m)</b>	0,012	0,034

*Tabla 13. Cota máxima y mínima de inundación*

A simple vista se comprueba como la sección censal más afectada es la 3908001002, que también es la que ocupa una mayor superficie del municipio. Sin embargo, en esta sección censal la superficie de las edificaciones afectadas es cero.

La mayor superficie de edificaciones afectadas se encuentra en la sección número 3, donde entre 2.515 y 6.200 m<sup>2</sup> de edificaciones se inundan para periodos de retorno de entre 100 y 500 años de periodo de retorno.

La sección censal número 1 le sigue en cuanto a afección, con una superficie de edificaciones que varía entre los 1.800 y los 3.000 m<sup>2</sup>.

Tanto la sección número 1 como la 3 son las dos en las que se encuentra el casco urbano del municipio y por tanto en donde más edificaciones existen.

La sección número 4, la más occidental del municipio presenta entre 550 y 870 m<sup>2</sup> de edificaciones afectadas.

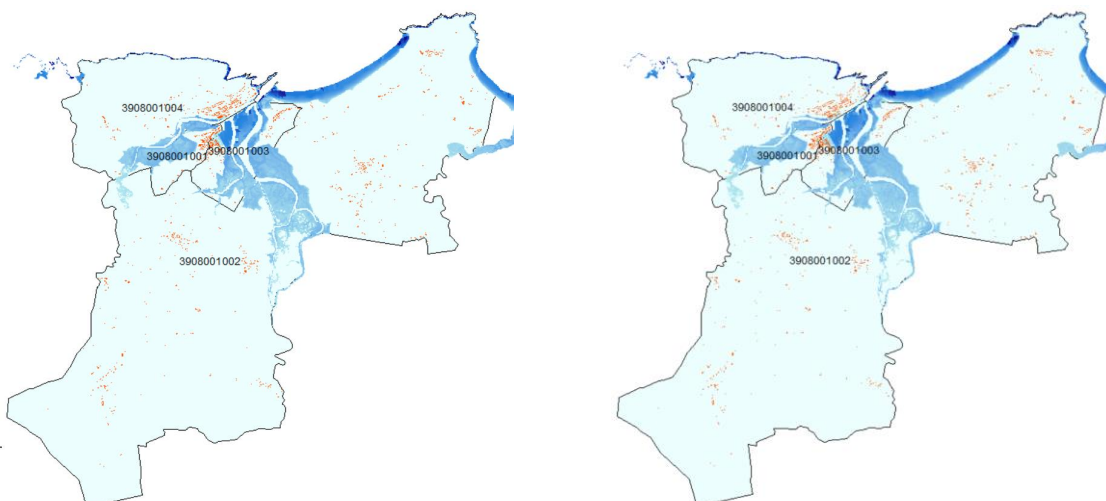


Figura 25. Área inundada para  $T = 100$  y  $T = 500$

Sección censal	$T=100$ (m <sup>2</sup> )	$T=500$ (m <sup>2</sup> )
3908001001	1818	2956
3908001002	0	0
3908001003	2.515	6.198
3908001004	551	867
TOTAL MUNICIPIO	4.884	10.021

Tabla 14. Superficie ocupada afectada por sección censal en m<sup>2</sup>

Respecto a los usos de la superficie los más afectados son el residencial para ambos periodos de retorno, el sanitario para  $T=100$  años y el de la manufactura para  $T=500$  años.

	$T=100$	$T=500$
<b>Superficie residencial afectada (m<sup>2</sup>)</b>	3.458	7.563
<b>Superficie comercio afectada (m<sup>2</sup>)</b>	171	462
<b>Superficie deportiva afectada (m<sup>2</sup>)</b>	0	0
<b>Superficie enseñanza afectada (m<sup>2</sup>)</b>	0	0
<b>Superficie manufactura afectada (m<sup>2</sup>)</b>	411	695
<b>Superficie religiosa afectada (m<sup>2</sup>)</b>	0	0
<b>Superficie sanidad afectada (m<sup>2</sup>)</b>	503	600
<b>Superficie hotelera afectada (m<sup>2</sup>)</b>	5	16
<b>Superficie cultural afectada (m<sup>2</sup>)</b>	0	0
<b>Superficie ocio afectada (m<sup>2</sup>)</b>	253	495
<b>Superficie oficinas afectada (m<sup>2</sup>)</b>	82	190

Tabla 15. Superficie afectada por usos en m<sup>2</sup>

En cuanto al análisis de la población afectada, una primera conclusión la podemos obtener de la comparación entre los dos primeros escenarios definidos anteriormente (Caso 1 y

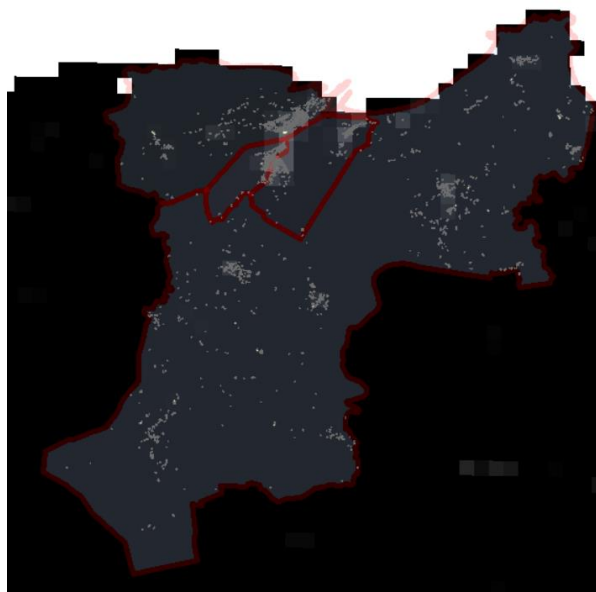
Caso 2). En esta comparativa se enfrentan los resultados de la exposición caracterizada en edificaciones frente a la caracterización a 250m de resolución espacial.

Se observa que, para el periodo de retorno 100, mientras que en el Caso 1 la población afectada es de 240 personas, en el Caso 2 este número llega hasta casi las 2.400 (diez veces más).

Población afectada	T=100	T=500
<b>Caso 1</b>	240	388
<b>Caso 2</b>	2.360	5.419

*Tabla 16. Población afectada caso 1 y caso 2*

Partiendo de la hipótesis de que la exposición utilizada en el Caso 1 representa mejor la realidad (pues imputa la población en edificaciones y elimina residentes de zonas como calles, plazas, etc.) comprobamos como el empleo de bases de datos de exposición globales (como la GHS) sobrestima de manera importante la determinación del riesgo. Esto pone de relevancia la importancia de utilizar buenas fuentes de exposición a la hora de realizar los estudios de riesgo.



*Figura 26. Nivel de detalle base de datos Global Human Settlement*

Toda vez que se toma como referencia el Caso 1, su detalle por sección censal muestra que la mayor cantidad de población afectada se encuentra también en la sección censal 3908001003, entendiendo por población afectada toda aquella que habite en las zonas en las que la cota de inundación sea superior a 0,3 m.

Sección censal	T=100	T=500
3908001001	57	61
3908001002	0	0
3908001003	182	326
3908001004	1	1

*Tabla 17. Población afectada por sección censal*

Analizando otro tipo de elementos aparte de la población, se presentan los datos relativos a la renta y PIB estimado afectados para las distintas secciones censales del municipio.

Sección censal	T=100 (€)	T=500 (€)
3908001001	624.458,14	668.279,77
3908001002	0	0
3908001003	1.865.724,41	3.341.901,96
3908001004	10.738,89	10.738,89

*Tabla 18. Renta afectada por sección censal*

Sección censal	T=100 (€)	T=500 (€)
3908001001	977.276,97	1.045.857,81
3908001002	0	0
3908001003	2.919.858,58	5.230.076,35
3908001004	16.806,37	16.806,37

*Tabla 19. PIB estimado afectado por sección censal*

En total, el valor acumulado de renta anual que se ve afectado en el municipio de San Vicente de la Barquera oscila entre los 2.500.921,44 € y los 4.020.920,62 € para el periodo de retorno 100 y 500 respectivamente.

Igualmente, para el PIB, el valor varía entre los 3.913.941,92 € y los 6.292.740,53 € para el periodo de retorno 100 y 500 respectivamente.

La comparación del Caso 1 y el Caso 3 debe servir para obtener la sensibilidad de la población frente a distintas cotas de inundación.

Así, se observa que entre 430 y 500 personas se ven afectadas, aunque sea mínimamente, por la inundación de eventos de periodos de retorno entre los 100 y 500 años.

Esta cantidad de personas, como es de esperar, se va reduciendo a medida que aumenta el umbral de vulnerabilidad que se adopte. Para un umbral de 0,15m el número de personas anterior se reduce entre un 20% y un 8%. Estos valores nos dan igualmente el porcentaje de población afectada que experimenta una cota de inundación entre 0 y 0,15 metros.



Para umbrales mayores, de 0,5m, la población afectada se reduce hasta desaparecer para periodos de retorno de 100 años, aunque resalta que para periodos de retorno de 500 años más de 300 personas sufren inundaciones de más de 0,50m.

	T=100	T=500
<b>Población afectada, umbral 0</b>	434	499
<b>Población afectada, umbral 0,15</b>	351	461
<b>Población afectada, umbral 0,3</b>	240	388
<b>Población afectada, umbral 0,5</b>	1	314

*Tabla 20. Resultados caso 3*

## 6. CONCLUSIONES

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RIESGOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. APLICACIÓN AL CASO DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE LA BARQUERA.

El presente proyecto tenía marcado un objetivo que era la caracterización de la exposición en alta definición del municipio de San Vicente de la Barquera. En el Apartado 3 se ha explicado la metodología seguida con las etapas que comprende. Los activos caracterizados han sido la población, las edificaciones por usos (comercial, cultural, deportivo, enseñanza, hotelero, manufactura, ocio, oficinas, religioso, residencial y sanitario), el valor catastral, la renta y el PIB. De esta caracterización se puede concluir que, en cuanto a los usos de la superficie los más representativos son el residencial (62%) y el deportivo (23%), que la mayor población se concentra en la sección censal 3908001004, que el valor catastral medio es 115.225,98€ (794 €/m<sup>2</sup>) y la renta media per cápita del municipio es igual a 9.692, 05€, siendo más alta en la sección 3908001001 y más baja en la 3908001002, al igual que el PIB.

Otro de los objetivos del trabajo era el desarrollo de un análisis comparativo de diferentes opciones de exposición. En el Apartado 4, análisis comparativo, se ha explicado este proceso realizándose tres comparativas diferentes. De este análisis se ha concluido que al utilizar una base de datos con un mayor nivel de detalle (censo) para estudiar la exposición de la población, se consiguen resultados más precisos. También se ha determinado que la sección censal más afectada por la subida del nivel medio del mar es la 3908001003.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Cambio climático: ¿Cómo sabemos lo que sabemos? Climate Change: Vital Signs of the Planet. 2020. Disponible en: <https://climate.nasa.gov/evidencia/>
2. Ipcc.ch. 2020. Disponible en:  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/AR5\\_SYR\\_Glossary\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/AR5_SYR_Glossary_es.pdf)
3. Repositorio.cepal.org. 2020. Disponible en:  
[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3982/1/S2012024\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3982/1/S2012024_es.pdf)
4. 2020. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/268149143\\_Risk\\_Hazard\\_and\\_People's\\_Vulnerability\\_to\\_Natural\\_Hazards\\_a\\_Review\\_of\\_Definitions\\_Concepts\\_and\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/268149143_Risk_Hazard_and_People's_Vulnerability_to_Natural_Hazards_a_Review_of_Definitions_Concepts_and_Data)
5. Global Human Settlement - Download - European Commission.
6. Ghsl.jrc.ec.europa.eu. 2020. Disponible en:  
<https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/download.php?ds=pop>
7. INE. Instituto Nacional de Estadística. INE. Disponible en: <https://www.ine.es>
8. Real Academia Española. Rae.es. 2020. Disponible en: <https://www.rae.es/>
9. Poljanšek K. Science for disaster risk management 2017: European Commission; 2017.
10. Sede Electrónica del Catastro - Inicio. Sedecatastro.gob.es. 2020. Disponible en: <https://www.sedecatastro.gob.es/>
11. Instituto Cántabro de Estadística - ICANE Ican.es. 2020. Disponible en: <https://www.ican.es/>
12. Estadística experimental. Menú principal. Ine.es. 2020. Disponible en: <https://www.ine.es/experimental/experimental.htm>
13. Germanwatch.org. 2020. Disponible en:  
[https://germanwatch.org/sites/germanwatch.org/files/Indice%20de%20Riesgo%20Climatico%20Global%202019%20-%20Resumen\\_0.pdf](https://germanwatch.org/sites/germanwatch.org/files/Indice%20de%20Riesgo%20Climatico%20Global%202019%20-%20Resumen_0.pdf)
14. ¿Cuáles son los países más amenazados y vulnerables por el cambio climático? Iberdrola. 2020. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/paises-mas-afectados-cambio-climatico>
15. El aumento del nivel del mar se acelera: el cambio climático llega antes y más fuerte de lo previsto. National Geographic. 2020. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/09/el-aumento-del-nivel-del-mar-se-acelera-por-un-cambio-climatico-imparable>
16. Las ciudades españolas amenazadas por el aumento del nivel del mar. Noticias de El tiempo. 2020. Disponible en: <https://noticias.eltiempo.es/las-ciudades-espanolas-mas-amenazadas-por-el-aumento-del-nivel-del->

mar/#::~text=hasta%20grandes%20profundidades.-

,Cerca%20del%2075%25%20de%20la%20poblaci%C3%B3n%20(unos%2036%  
20millones%20de,y%202017%2C%20respecto%20a%202017.